Togla

Société Suisse de Spéléologie

Commission Enseignement

Topographie souterraine

Yvan Grossenbacher

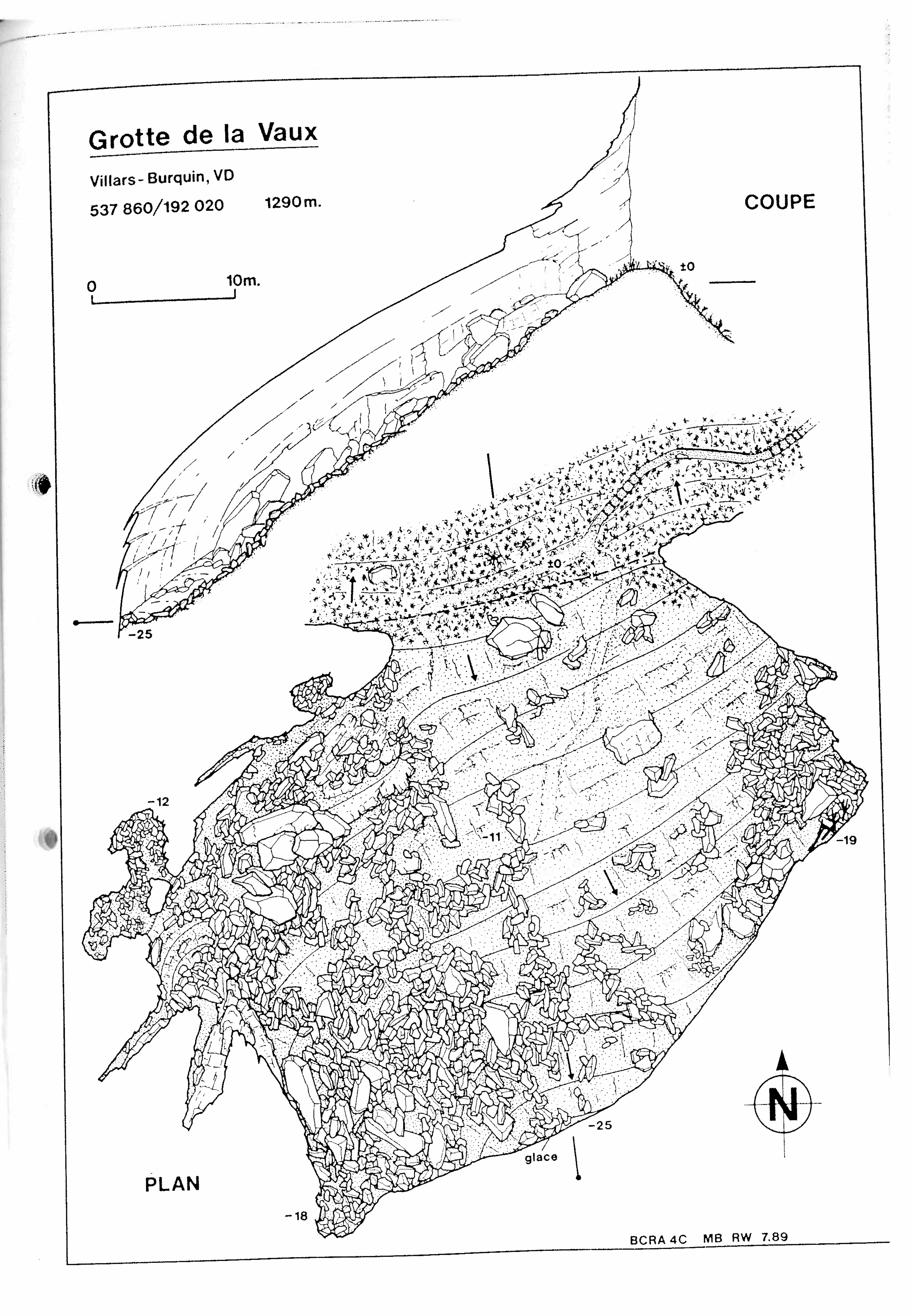
Avec la collaboration de: Thomas Bitterli, Patrick Deriaz, Martin Heller, Alex Hof, Pierre-Yves Jeannin, Jean-Claude Lalou, Daniela Spring, Eric Taillard, Rémy Wenger

Neuchâtel 1991

Editions du Fond
c/o Bibliothèque de la
Société Suisse de Spéléologie
Ch. des Invuex
CH 1614 Granges
Fax (021) 947 53 78

ISBN 2-88374-002-X

TABLE DES MATIÈRES



Grotte de la Vaux
Villars - Burquin, VD
537 860/192 020
1290m.
0
10m.
COUPE
±0
-25
±0
-12
-11
-19
-25
glace
-18
PLAN
N
BCRA 4C MB RW 7.89

1. Introduction

1.1 Buts et nécessité de la topographie

1.1.1 Pérennité de l'information

1.2 Pourquoi ce livre

1.2.1 Structure du présent cours

1.1 Buts et nécessité de la topographie

Témoin objectif des longues heures passées à explorer le monde souterrain, la topographie permet au spéléologue de présenter une vue d'ensemble des galeries parcourues.
Outil indispensable à l'étude d'une cavité, à la compréhension de sa genèse, de son fonctionnement hydrologique, une bonne topographie est sans doute, avec une bonne compréhension du karst, le meilleur moyen de déterminer les possibilités de nouvelles découvertes en mettant en évidence les endroits où il vaut la peine de chercher...

Bien mieux que cinq pages de description, une topo permet d'avoir, en un seul coup d'oeil une idée d'ensemble de la cavité qu'elle représente. La description permettant .elle de préciser les éléments qui n'apparaissent pas de manière évidente sur le dessin.

1.1.1 Pérennité de l'information

Chacun admet volontiers que les topographies faites il y a une cinquantaine d'années sont relativement imprécises et méritent la plupart du temps d'être refaites. On admettrait sans doute moins volontiers que nos topos seront à refaire dans quelques dizaines d'années... Il faut toutefois être conscient que lorsque l'on topographie une cavité, on représente sur le papier la cavité telle qu'on la connaît à un certain moment et il est tout à fait imaginable que quelques années plus tard, cette topo doive être refaite au vu de nouvelles découvertes.
Ceci dit, il vaut la peine de topographier le mieux possible, afin que l'information récoltée soit durable et puisse servir de base à de futurs relevés. Dans cette optique, il est important de conserver soigneusement tous les documents qui ont servi à dessiner une topographie (fiches topo, feuilles de mise au net, fichiers informatiques...)

1.2 Pourquoi ce livre

Les techniques exposées dans cet ouvrage ne sont pas nouvelles et elles sont régulièrement appliquées par de nombreux spéléologues expérimentés. Il existe toutefois un grand nombre de «spéléos» pour qui la réalisation d'une topo reste un grand mystère et c'est à eux en particulier que ce livre s'adresse.

Un jour ou l'autre, chaque spéléo sera appelé à topographier une cavité et nous avons cherché à présenter les bases nécessaires à ses premiers pas. Avec l'expérience, chacun adopte un style personnel et il n'est évidemment pas possible ici de présenter tous les trucs et astuces des «pros» de la topo spéléo.

1.2.1 Structure du présent cours

Le présent cours comporte six chapitres dont trois démontrent, par l'exemple, la réalisation d'une topo. Le chapitre 3, «Le levé» traite de tout ce qu'il faut faire sous terre, alors que les chapitres 4, «Les calculs» et 5 ,«Le report», traitent de la mise au net. Les trois chapitres reprennent le même exemple, et le lecteur pourra ainsi suivre pas à pas l'élaboration d'une topographie. Nous avons choisi de terminer ce cours par quatre annexes où sont rassemblées des informations spécifiques sur la topographie de surface, la topographie en siphon, le calcul des boucles et le programme Toporobot (fig. 1.1).
Tout au long du cours, des topographies sont reproduites à titre d'exemple. Elles ont chacune un style propre à leur auteur et il sera intéressant pour le lecteur de s'inspirer de ces exemples lors de ses premiers pas.

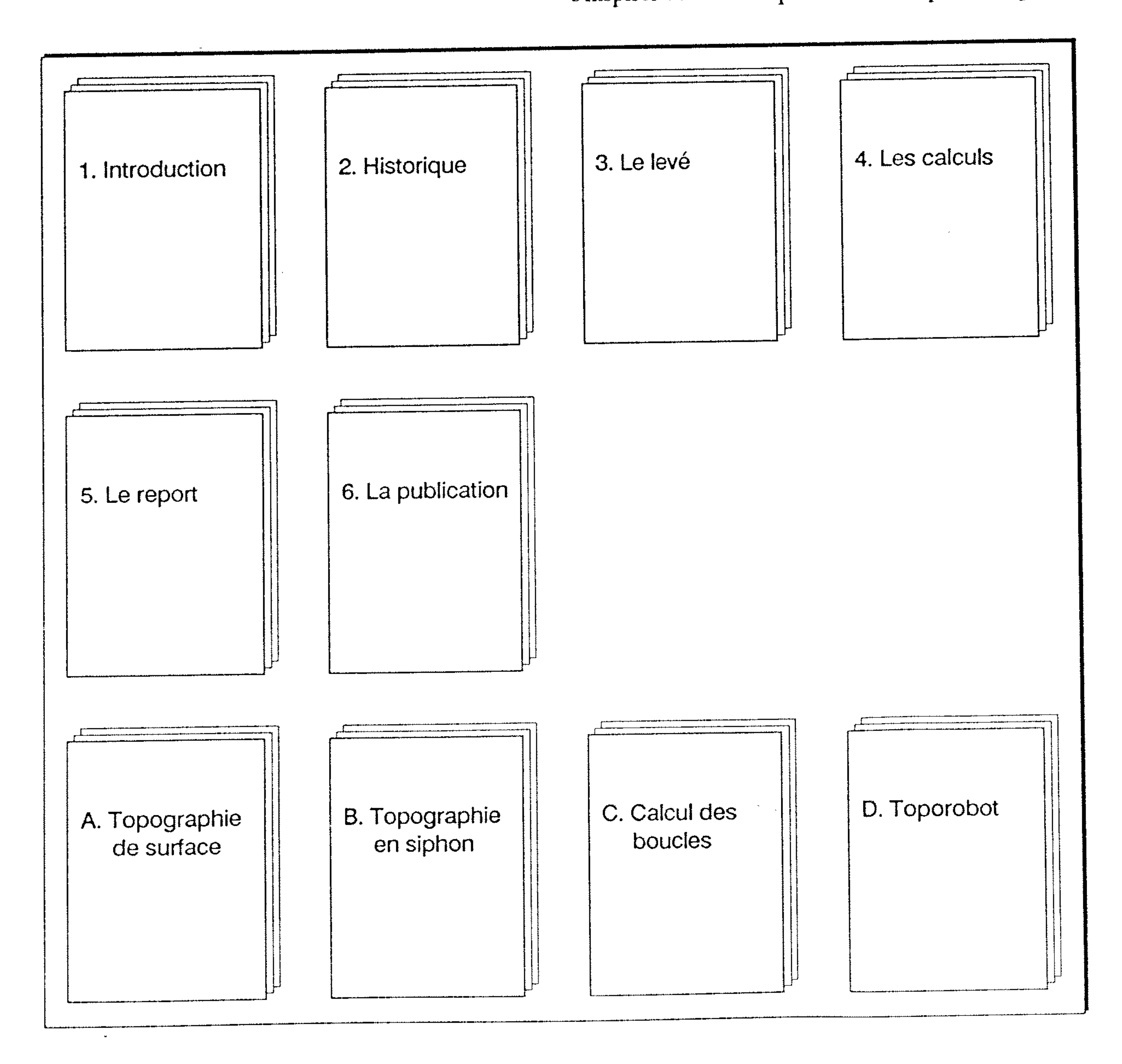
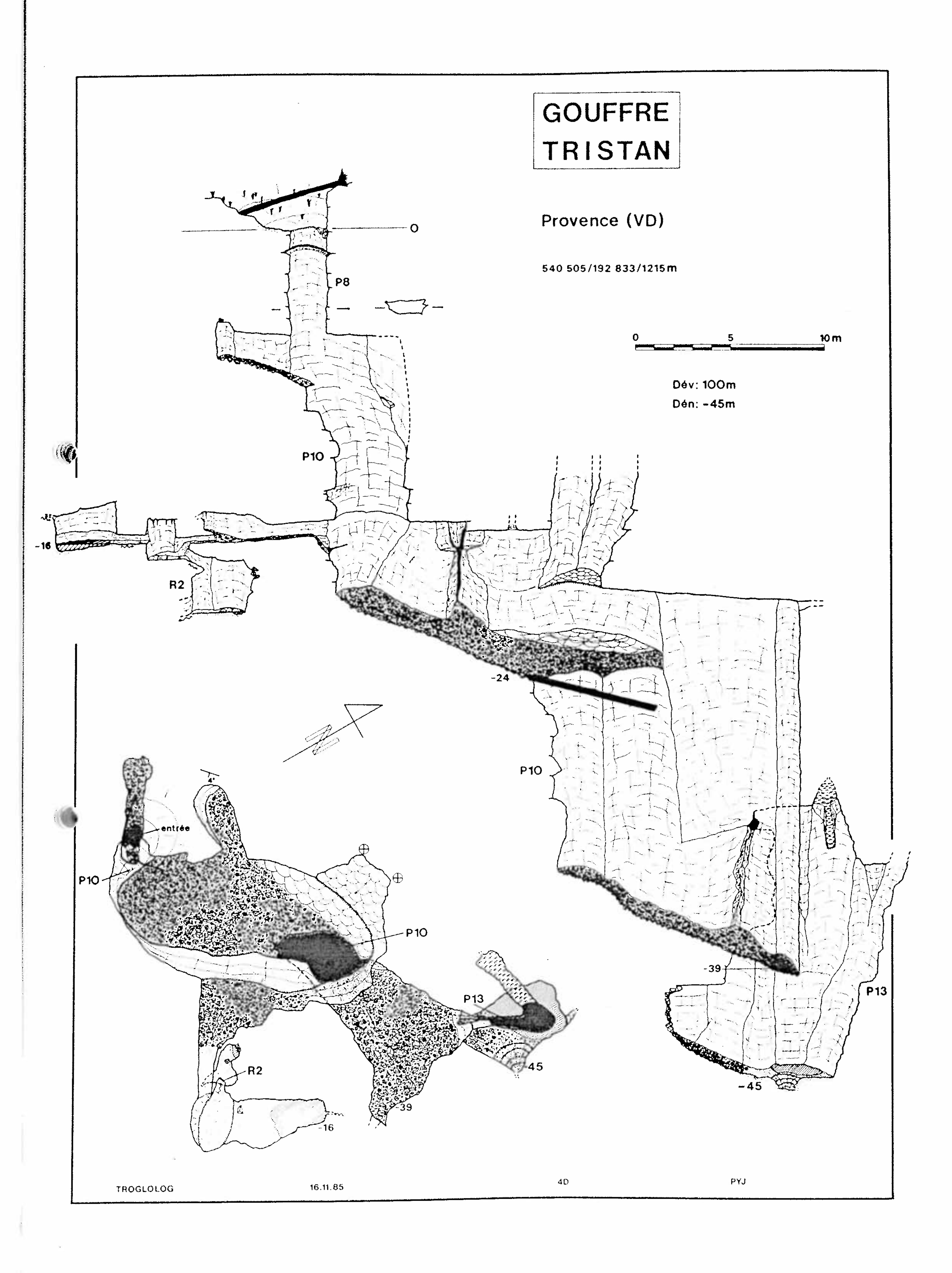


Fig. 1.1 Structure du présent cours


GOUFFRE
TRISTAN
Provence (VD)
540 505/192 833/1215m
0
5
10m
Dév: 100m
Dén: -45m
0
P8
P10
-16
R2
-24
P10
-39
P13
-45
4°
entrée
P10
P10
P13
-45
R2
-39
-16
TROGLOLOG
16.11.85
4D
PYJ

2. Historique

2.1 Les précurseurs

2.1.1 Les premiers instruments
2.1.2 Les premières topos

2.2 Présent et futur

2.2.1 Les méthodes actuelles
2.2.2 L'outil informatique
2.2.3 Les techniques du futur

2.1 Les précurseurs

Si l'on trouve des plans de grottes datant du XVIIe siècle, c'est principalement dès la fin du XIXe siècle que l'on commença à topographier systématiquement les cavités que l'on explorait. Edouard Alfred Martel, qui est souvent considéré comme le père de la spéléologie moderne, réalisa de nombreux plans et élabora les bases de la topographie (fig. 2.1).

2.1.1 Les premiers instruments

Pour la topographie de cavités à caractère horizontal, on a souvent utilisé un carnet que l'on orientait à chaque fois à l'aide d'une boussole sur lequel on dessinait la galerie telle qu'elle se présentait à l'explorateur. Les longueurs étaient soit estimées, soit mesurées à l'aide d'une chevillière ou d'une cordelette munie de noeuds à intervalles réguliers. Dans les cavités verticales, on utilisait en général une boussole et clisimètre que l'on fabriquait le plus souvent soi-même.

2.1.2 Les premières topos

Bien qu'on ne puisse pas généraliser, les premières topos sont souvent peu précises et les développements ainsi que les profondeurs souvent exagérés. On peut expliquer cela d'une part par l'inconfort du topographe, vêtu d'une combinaison de toile, trempé, souvent fatigué par une très longue exploration; et d'autre part, par le fait que la profondeur des puits était souvent mesurée en nombre de trains d'échelles, ce qui provoque toujours une surévaluation qui correspondait assez bien à l'impression que l'on avait d'avoir exploré un gouffre très profond!

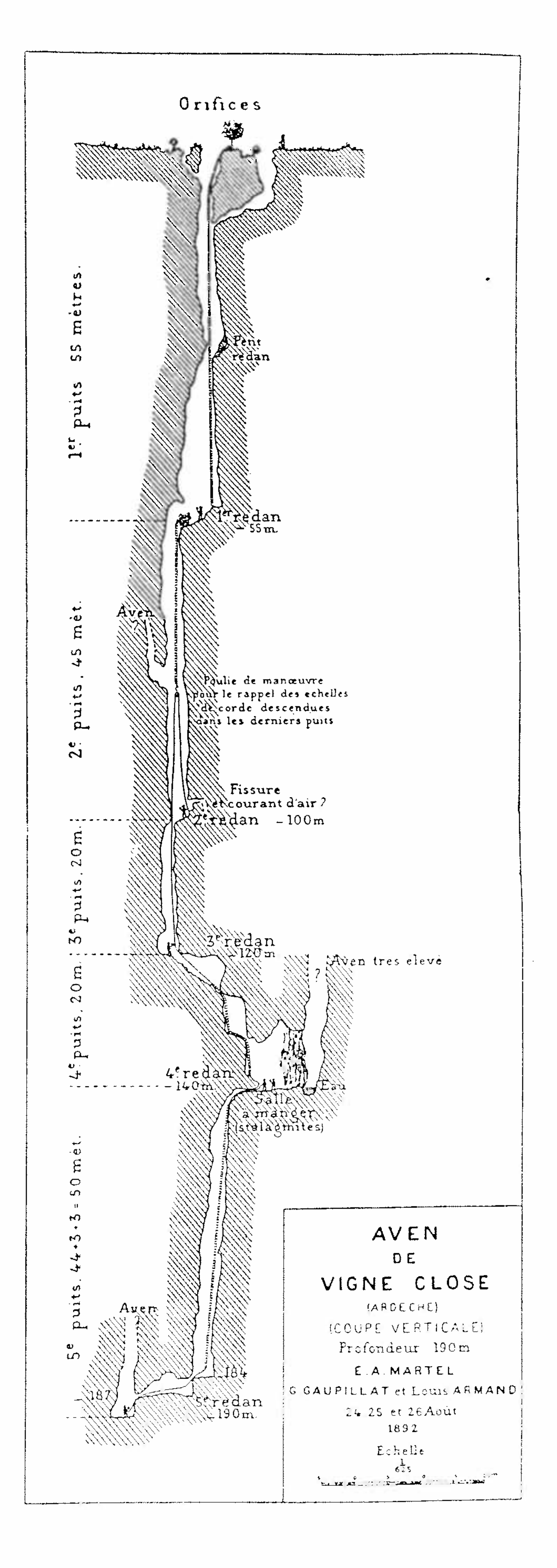


Fig. 2.1 Topographie datant de 1892

2.2 Présent et futur

Dès la fin des années 60, les techniques spéléos modernes se généralisent et du même coup le matériel et les techniques topographiques évoluent. Mieux équipé, le spéléo est plus à l'aise sous terre, et il peut consacrer plus de temps au levé de la topo. Ceci a pour effet de rendre les topos de plus en plus précises et conformes à la réalité.

2.2.1 Les méthodes actuelles

Le matériel et les méthodes utilisés en topographie souterraine ont tendance à se normaliser de plus en plus (du moins dans nos régions). D'autre part la règle veut aujourd'hui que toute nouvelle cavité soit topographiée au fur et à mesure de son exploration. Cela permet d'éviter l'exploration rapide et bâclée de cavités qui ne seront ensuite jamais topographiées correctement. Le matériel topo fait partie intégrante de l'équipement du spéléologue en exploration.

2.2.2 L'outil informatique

L'ordinateur peut apporter une aide très appréciable lors de la mise au net d'une topographie. Il permet d'une part d'effectuer les calculs et, suivant les performances du système utilisé, de réaliser le dessin de la cavité.
A notre connaissance le programme le plus performant actuellement disponible est le programme TOPOROBOT, écrit par Martin HELLER, qui permet à partir des mesures effectuées sous terre de dessiner un squelette des galeries, que l'on habillera ensuite, et des vues en perspective très réalistes de la cavité. Nul doute que l'usage d'un tel outil informatique est à recommander vivement lorsque l'on topographie un réseau d'une certaine importance.

2.2.3 Les techniques du futur

Les techniques actuelles (entre autres les plates-formes à inertie) permettent d'imaginer des outils topographiques très modernes. La mesure automatique de longueur, de direction et de pente est réalisable, mais le prix de tels instruments n'est pas compatible avec le budget du spéléo moyen! D'autre part il ne faut pas perdre de vue que le dessin reste sans doute l'élément le plus important du levé et qu'il continuera encore longtemps à nécessiter un sens de l'observation développé et un bon coup de crayon.

Pour la mise au net, dès que des programmes tel que TOPOROBOT seront disponibles pour ordinateurs personnels, leur emploi se généralisera certainement chez les spéléos qui explorent beaucoup.

3.1 Instruments de levé

Dans le présent chapitre, nous allons décrire les différents instruments qui sont utilisés en topographie souterraine. Nous nous sommes volontairement limités aux instruments qui sont les plus fréquemment utilisés dans nos régions.

3.1.1 Mesure des longueurs

Deux types d'instruments sont utilisés en spéléo pour la mesure des longueurs. Il s'agit d'une part de la chevillière, et d'autre part du «Topofil».

La chevillière est un ruban de 10 à 50 m suivant les modèles, gradué en cm, qui s'enroule autour d'un axe muni d'une manivelle. Un boîtier vient dans certains cas compléter l'ensemble, mais les modèles «ouverts» (fig. 3.1) sont mieux adaptés à la spéléo, puisque moins fragiles et plus faciles à nettoyer. On choisira un ruban en plastique armé de fibre de verre, dont la précision est bonne, et le poids raisonnable. Le gain de précision apporté par un ruban métallique n'est guère exploitable sous terre. Enfin, il faut éviter les rubans bon marché en tissu, car ils se déforment avec le temps.

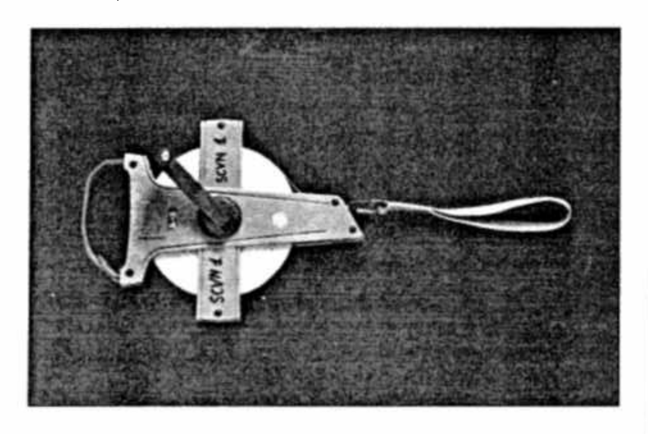


Fig. 3.1 Chevillière

Le «Topofil» est composé d'une bobine de fil (coton) qui, tout en se dévidant, entraîne un compteur étalonné (fig. 3.2). Le fil ainsi déroulé est perdu et le compteur affiche la distance totale parcourue (pas de remise à zéro entre deux mesures).

Le «Topofil» étant un instrument délicat et peu précis (élasticité et rupture du fil, manque de fil, déraillement du fil, entraînement irrégulier du compteur...), nous préférons utiliser une chevillière, qui est plus précise, plus robuste et plus pratique, notamment pour la mesure des sections de galeries.

Signalons pour terminer les appareils électroniques

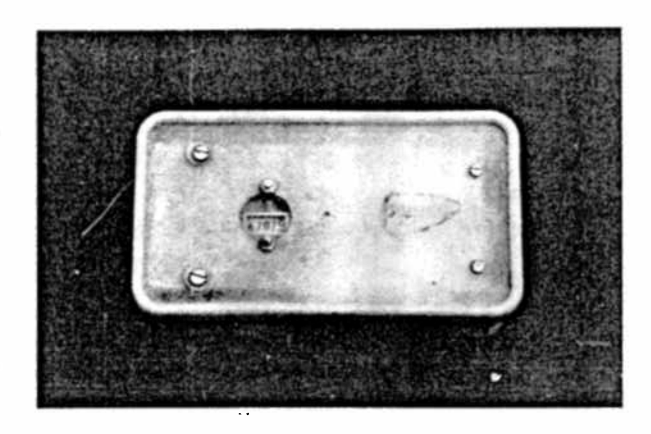


Fig. 3.2 Topofil

de mesure de distance (optiques ou/et ultra-sonores) qui sont encore peu utilisés sous terre. A suivre...

3.1.2 Mesure des directions

Commençons ce paragraphe en citant pour mémoire les boussoles de type Recta, Buchi ou autre, dont la précision est nettement trop faible pour qu'elles puissent être utilisées en topographie.
Nous préférerons utiliser un compas, instrument composé d'une rosace aimantée, graduée, qui se déplace devant un repère fixe.

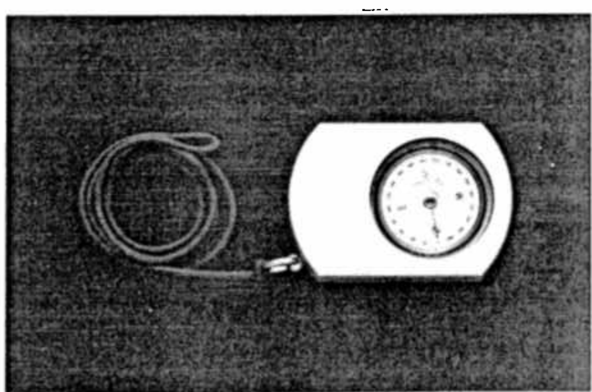


Fig. 3.3 Compas Suunto

Les compas Suunto (fig. 3.3) sont certainement les plus utilisés en spéléo, les compas Topochaix étant principalement utilisés dans les instruments combinés dont nous parlons au paragraphe 3.1.4.

La lecture du compas Suunto doit s'effectuer avec un seul oeil. Pour cela, on tient le compas à quelques centimètres de l'oeil et l'on vise en alignant le repère fixe et le point à viser. La méthode qui consiste à viser avec les deux yeux ouverts est à proscrire car elle

introduit une imprécision supplémentaire.
La graduation des compas est réalisée soit en degrés, soit en grades. La graduation en degrés s'étend de 0 à 360 degrés alors que la graduation en grades s'étend de 0 à 400 grades (fig. 3.4). Les deux échelles conviennent à la topographie souterraine, et le choix de l'une ou de l'autre n'a pas une grande importance, l'important étant de noter sur la feuille topo quel type d'instrument l'on utilise! Sur certains modèles, on trouve une graduation inverse (±180° ou ±200^g) que l'on ne doit pas confondre lors des visées.

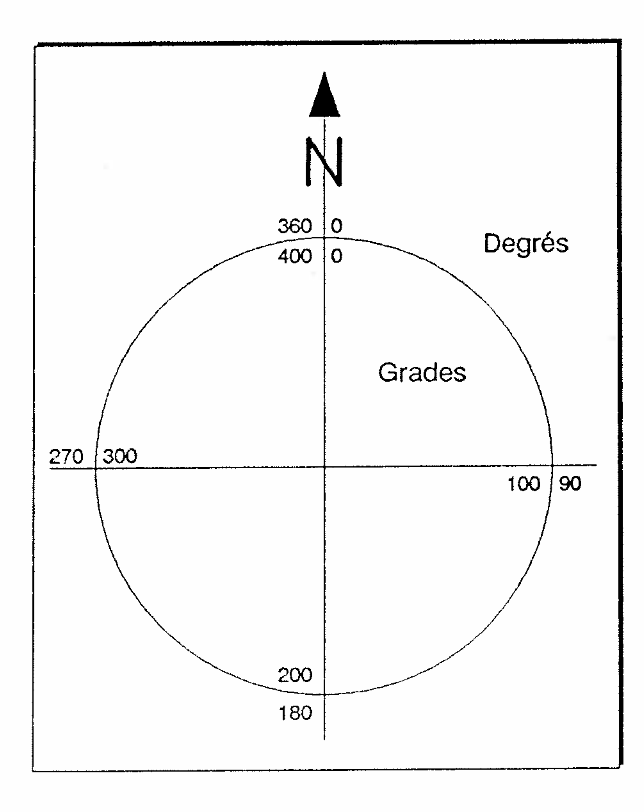


Fig 3.4 Graduation des compas

Attention

Les boussoles et les compas sont, de par leur principe, sensibles aux influences magnétiques, c'est-à-dire, qu'ils peuvent dévier de plusieurs dizaines de degrés s'ils sont utilisés à proximité d'objets métalliques (quincaillerie, lunettes, lampe «Petzl zoom»...) Il est important de faire des essais, par exemple en approchant ses lunettes du compas pour voir si une déviation peut être observée!

3.1.3 Mesure des pentes

La mesure des pentes est effectuée à l'aide d'un clisimètre. Il s'agit d'un instrument qui fonctionne sur le principe du fil à plomb, qui, combiné avec une échelle graduée permet de mesurer l'inclinaison. Le modèle le plus répandu est le clisimètre Suunto (fig. 3.5) qui possède le même système de visée que le compas de la même marque.

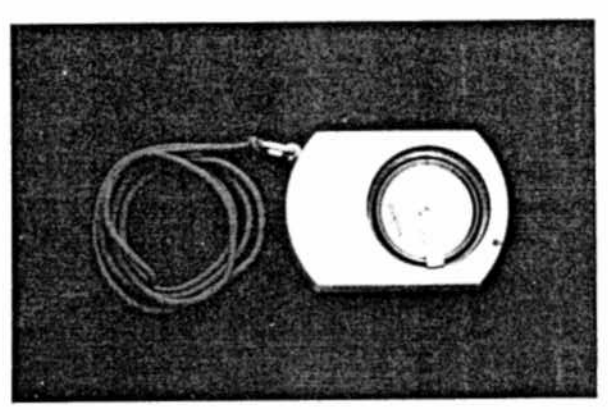


Fig. 3.5 Clisimètre Suunto

Comme pour les boussoles, il existe des clisimètres gradués en ±90 degrés ou en ±100 grades qui conviennent tous deux à la topographie souterraine. Une échelle complémentaire en pour-cent ne doit pas être utilisée ni confondue! Suivant le type de clisimètre, le 0 peut correspondre soit à l'horizontale, soit à la verticale.

Un autre principe, à base d'un niveau à bulle et d'un rapporteur d'angle, est utilisé dans les instruments combinés dont nous parlons au paragraphe suivant.

3.1.4 Instruments combinés

Les mesures des directions, des longueurs et des pentes peuvent être réalisées à l'aide d'un instrument combiné, qui se compose d'un «Topofil», d'un compas et d'un clisimètre.

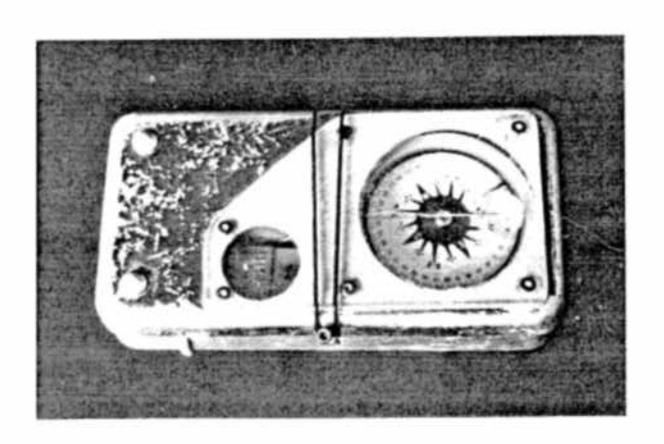


Fig 3.6 Boîte «Topo-Vulcain»

A notre connaissance, le seul instrument de ce type, utilisé dans nos régions, est la boîte «Topo-Vulcain» (fig. 3.6). Celle-ci renferme un «Topofil», un compas Chaix et un système composé d'un rapporteur et d'un niveau à bulle pour la mesure des pentes.

La boîte «Topo-Vulcain» est un instrument compact, agréable à utiliser et plus facile à lire que les instruments Suunto. Toutefois, les désavantages cités au paragraphe 3.1.1 au sujet du «Topofil» restent valables et de plus, il faut signaler la fragilité du boîtier, qui, s'il est cabossé, fausse les mesures de pentes.

3.1.5 Mesure de l'altitude

La mesure de l'altitude s'effectue à l'aide d'un altimètre (fig. 3.7), qui indique les différences d'altitude en fonction des variations de la pression atmosphérique. Seuls les altimètres de bonne qualité (et d'un prix élevé!) qui sont corrigés en température garantissent une précision correcte.

Avant chaque utilisation, l'altimètre doit être «calé», c'est-à-dire qu'il faut se rendre à un point dont l'altitude est connue (point repérable sur une carte topographique) et tourner le cadran de l'altimètre pour afficher l'altitude du lieu. On peut alors monter ou descendre, l'altimètre indiquera l'altitude du point où l'on se trouve. Attention toutefois aux changements de temps, car si la pression atmosphérique se modifie, l'indication de l'altimètre sera faussée.

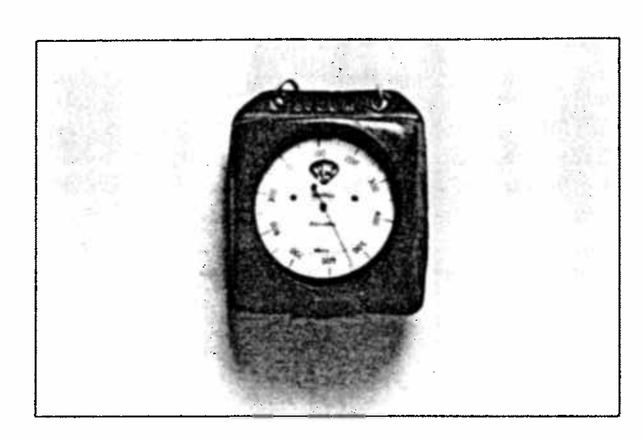


Fig. 3.7 Altimètre

L'altimètre est utilisé en surface, généralement pour déterminer l'altitude de l'entrée d'une cavité. Sous terre, les indications fournies sont trop imprécises (voire même fausses quand les cavités ont beaucoup de courant d'air) pour qu'elles puissent servir à la topographie.

Fiche No:	Cavité:	Région/zone:	Mesures:	Date:
	Galerie:	Instruments:	Notes/dessin:	

No	L [m]	N [ ]	± ∡ [ ]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	Remarques

Fig. 3.8 Feuille topo

3.1.6 Inscription des résultats

Le moyen le plus élémentaire pour prendre des notes sous terre est sans doute un carnet et un crayon. Il n'est dès lors pas étonnant que de tous temps, les spéléologues aient eu recours à ce système.

Cependant, le papier ordinaire ne résistant pas à l'humidité du milieu souterrain, il apparaît rapidement qu'il convient de trouver une solution mieux adaptée à la spéléologie. C'est ainsi que la plupart des spéléos-topographes utilisent des fiches en «Syntosil», papier imperméable, qui résiste bien à l'eau et à l'argile.

Ces fiches en «Syntosil», sont en général au format A5. Le recto est muni de colonnes, où l'on reportera les résultats des mesures, le verso est blanc, éventuellement millimétré.

Il existe différents types de fiches topo. Nous reproduisons ici, à titre d'exemple, celle que nous utilisons généralement (fig. 3.8).

Comme support, on peut utiliser une plaque en aluminium munie d'une pince, telle que l'on en trouve dans le commerce, mais on préfère se servir d'un «carnet» format A6 constitué de deux plaques de PVC reliées ensemble par de la toile isolante (fig. 3.9). Les feuilles topo pliées en deux sont maintenues à l'intérieur de ce carnet à l'aide d'un élastique. Ce carnet topo a l'avantage d'être petit, de bien protéger les feuilles qu'il contient et d'être moins froid au toucher que l'aluminium. Un crayon genre Fix-pencil sera utilisé pour remplir les feuilles topo. Des feuilles de réserve ainsi qu'un second crayon seront conservés dans un sachet en matière plastique placé dans un sac ou dans une poche.

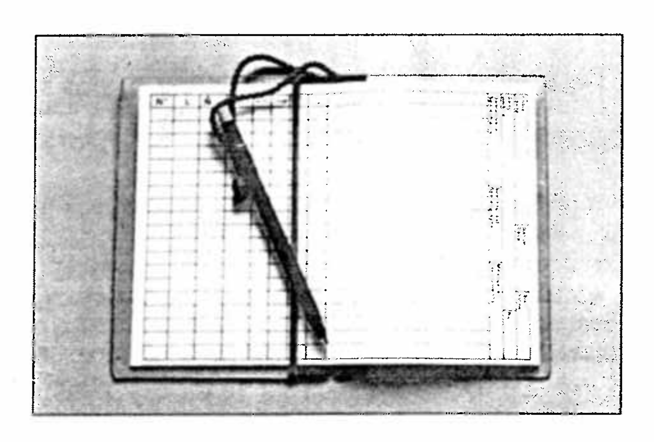


Fig 3.9 Carnet topo

3.1.7 Marquage des points

Pour le marquage des points, on utilise, sous terre, du vernis à ongles, et en surface de la peinture en tube ou en flacon. Le marquage doit avant tout être discret. Le transport d'un tube de peinture dans un sac n'est pas sans risque, c'est pourquoi nous recommandons de protéger celui-ci à l'aide d'un morceau de tuyau PVC (fig. 3.10).

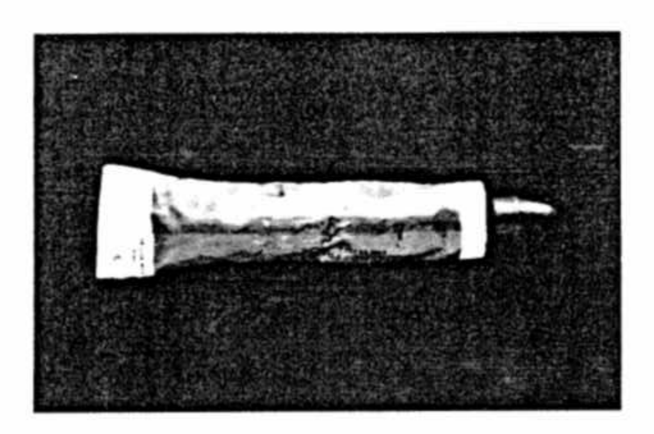


Fig. 3.10 Tube de peinture

3.1.8 Précision et étalonnage

Les conditions particulièrement rudes auxquelles sont soumis les instruments de mesure utilisés en topographie souterraine font qu'il est indispensable de vérifier régulièrement leur bon fonctionnement. On peut pour cela organiser une à deux fois par année une séance de vérification des instruments à laquelle plusieurs clubs peuvent collaborer. Ces essais seront faits chaque fois au même endroit, à l'aide des mêmes repères, afin de pouvoir comparer les résultats d'une fois à l'autre.
D'autre part, si l'on prend la bonne habitude de réaliser, dans les topographies qu'on lève, des «boucles» à chaque fois que c'est possible, on aura un certain contrôle de la qualité des instruments et des opérateurs. Attention toutefois à certaines erreurs systématiques qui peuvent ne pas apparaître!

Pour étalonner les instruments de mesure de longueur, il faut comparer les indications qu'ils fournissent pour plusieurs longueurs avec une référence dont on connaît la précision. Pour une chevillière de 30 m, on fera par exemple des mesures à:

1 m 2 m 5 m 10 m 20 m 30 m

Comme référence, il faut utiliser un décamètre en acier comme en utilisent les géomètres. On effectuera 10 mesures pour chaque longueur et l'on pourra reporter les résultats sous forme graphique (fig. 3.11).

Un bon instrument de mesure de longueur devrait avoir une précision de l'ordre de 0,2%, c'est-à-dire que pour 30 m par exemple, on devra lire une valeur comprise entre 29,94 m et 30,06 m.

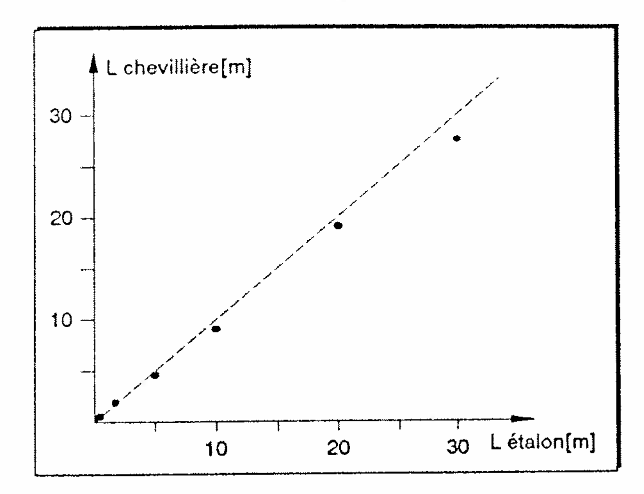


Fig. 3.11 Représentation graphique des longueurs mesurées avec la chevillière testée

Les compas doivent être vérifiés en utilisant comme référence une carte topographique. On choisit sur la carte un certain nombre de points de repère, répartis sur 360°, et l'on vise ces points à l'aide du compas. On effectue à nouveau dix lectures pour chaque angle, et

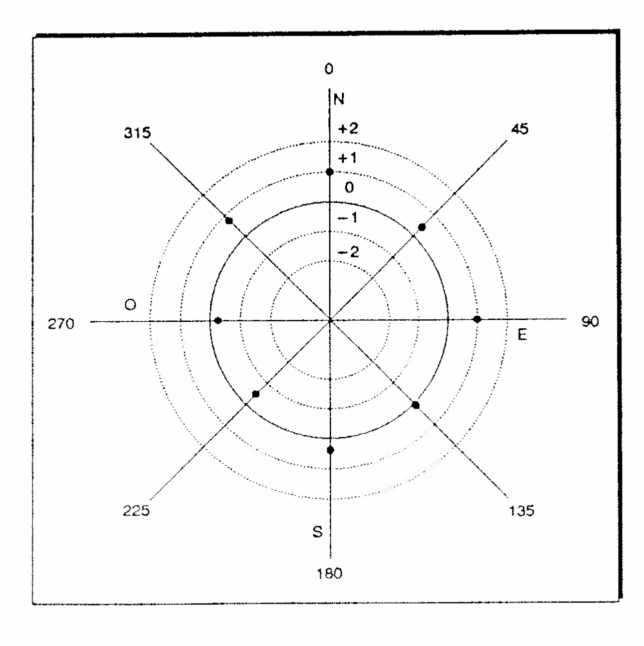


Fig. 3.12 Représentation graphique des directions mesurées avec un compas

l'on reporte les résultats, corrigés de la déclinaison (Voir 4.2.1) sur un graphique circulaire (fig. 3.12). La précision d'un compas Suunto, par exemple, est selon le fabricant de 1/6 de degré.

Pour la vérification d'un clisimètre, il est plus compliqué de trouver une référence. On peut naturellement utiliser un instrument de précision comme ceux des géomètres, mais encore faut-il en avoir un... Dans le cas contraire, on vérifie +90° et −90° en visant le long d'un fil à plomb et les angles intermédiaires avec un rapporteur d'angle et un fil à plomb. L'horizontale peut être vérifiée sur un plan d'eau immobile.

On effectue à nouveau dix fois chaque mesure et l'on reporte les résultats sur un graphique circulaire (fig. 3.13).

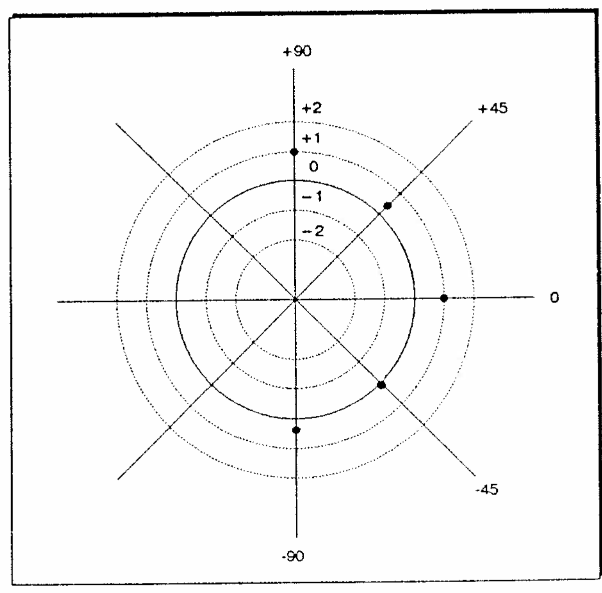


Fig. 3.13 Représentation graphique des angles mesurés avec un clisimètre

La précision d'un clisimètre est comparable à celle d'un compas.
Si au cours des tests effectués on constate des erreurs systématiques plus importantes que 1 grade ou 1 degré, il faudra ou bien changer ces instruments, ou bien introduire lors de vos relevés des facteurs de correction (bonne chance)...

3.2 Technique de levé

Il ne fait aucun doute que la topographie d'une cavité se fait sur ou plutôt sous le terrain. Entendons par là que le travail de base, dans une topo spéléo, est l'ensemble des mesures et des dessins faits sous terre.

Il serait vain de vouloir dessiner une topographie de qualité à partir de données peu précises. Le dessin fait sous terre doit être très soigné afin d'éviter de devoir se fier à sa mémoire lors de la mise au net!

3.2.1 Le cheminement

Le point de départ pour le levé d'une topographie peut être choisi selon les circonstances:
entrée de la cavité, fond de la cavité, point topo d'une autre galerie...

Le cheminement d'une topo sera partagé en segments qui correspondront en général aux différentes galeries de la cavité. Nous avons l'habitude de donner à chaque tronçon un numéro que l'on nomme «numéro de galerie».

Les points topo seront numérotés dans chaque galerie, en commençant par «0». Le «numéro de point» sera alors du type:

3.4 Pour le 4e point de la 3e galerie.

La figure 3.14 donne un exemple de cheminement. On constate qu'à chaque intersection ou embranchement de galeries, deux points se superposent. Une galerie peut se boucler sur elle-même, mais il faut éviter que deux galeries se croisent.

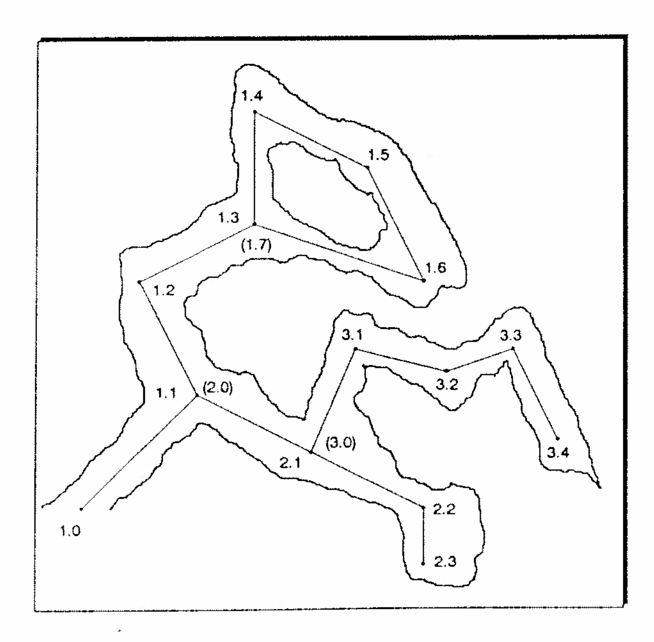


Fig. 3.14 Exemple de numérotation des points

3.2.2 Choix et marquage des stations

Avant toute chose, signalons qu'il est impératif que le marquage des points soit fait proprement et discrètement (fig. 3.15). Il n'est pas question d'utiliser pour cela de la peinture en spray et le numéro du point n'a pas besoin d'être complété du nom de l'auteur!

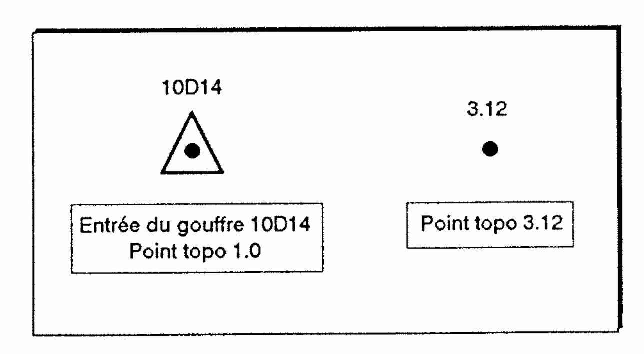


Fig. 3.15 Marquage des stations

Dans certains cas (roche sombre, parois glaiseuses...), on peut remplacer le marquage à la peinture par un point de repère (cairn, message sur un papier syntosil...) De plus il n'est pas forcement nécessaire de marquer tous les points, mais il faut au moins marquer les points de connexion avec d'autres galeries!

Lorsqu'une cavité prend de l'importance, il faut laisser aux carrefours importants un billet avec les numéros de la galerie et du point, la date, les noms des participants et de la galerie ou zone que l'on explore.

L'emplacement d'un point topo sera tout d'abord dépendant de l'emplacement du point précédent qui doit évidemment être visible. D'autre part, il est

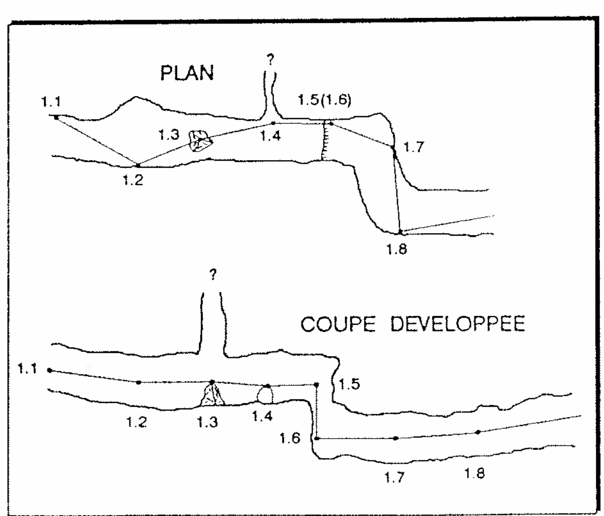


Fig. 3.16 Exemple de positionnement des stations

important de choisir les endroits marquants tels les embranchements, les cheminées, etc... Il faut également penser que les points que l'on choisit serviront de point de départ pour la topographie d'autres galeries. Il importe donc de placer un point vers chaque départ possible (fig. 3.16).

Enfin les stations doivent être placées, si possible, à des endroits «fixes», contre une paroi, sur un gros bloc, sur une concrétion...

Dans un passage fortement incliné, les stations doivent être choisies de façon à éviter le plus possible les visées obliques. En effet, il est toujours problématique de mesurer correctement une direction lorsque le compas est incliné. Pour éviter cet inconvénient, on s'arrange pour remplacer une visée oblique par une série de visées horizontales et verticales (fig. 3.17).

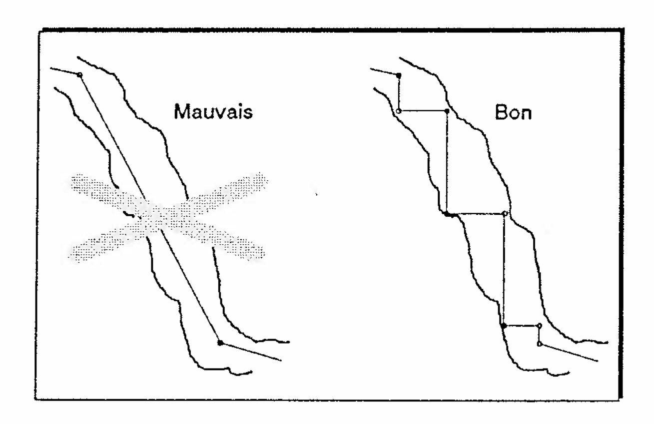


Fig. 3.17 Visées dans un passage incliné

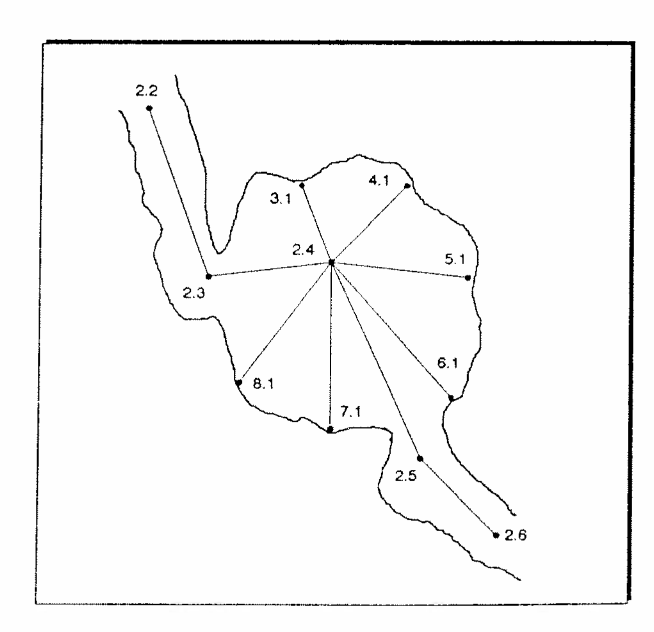


Fig. 3.18 Topographie d'une salle, visées en étoile

Pour le cas particulier de la topographie des grandes salles, on peut procéder de deux manières différentes. Soit on vise «en étoile» depuis le milieu de la salle (fig. 3.18), soit on fait le tour de la salle en suivant les parois (fig. 3.19). Cette seconde méthode est préférable, car elle facilite la numérotation des stations et introduit une boucle, ce qui diminue le risque d'erreurs.

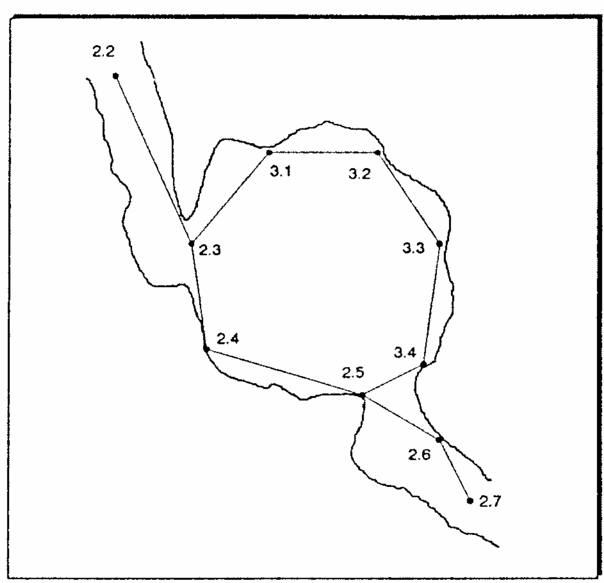


Fig. 3.19 Topographie d'une salle, visées le long des parois

3.2.3 L'équipe topo

S'il est naturellement possible de faire de la topo seul ou à cinq (!) il apparaît que c'est une équipe de deux ou trois spéléos qui peut travailler le plus efficacement.

L'un des équipiers se charge du compas et du clisimètre, le second (ou le premier s'il s'agit d'une équipe de deux) de la chevillière et le troisième tient le carnet topo et s'occupe, outre de noter les mesures faites par son équipier, du travail, ô combien important, de dessiner un croquis de la cavité. C'est ce dernier qui se chargera en général de la mise au net.

3.2.4 Mesure des longueurs

Nous décrirons ici uniquement l'emploi de la chevillière, le topofil ne nous paraissant pas être un instrument suffisamment précis et robuste pour être utilisé en topographie souterraine (sans parler du fil qui souille les cavités!)
Les longueurs sont mesurées entre deux points topo et la valeur lue est inscrite dans la colonne L de la fiche topo. Si, par exemple, la distance mesurée entre le point 1.4 et le point 1.5 est de 5, 82 m, nous inscrirons cette valeur sur la ligne du «point 1.5» (fig. 3.20).

Fiche No: 1/1	Cavité: 10A2	Région/zone: 10A	Mesures: A. Talon	Date: 10/6/91
	Galerie: 1	Instruments: Suunto/360/A.T.	Notes/dessin: D. Lambert	

No	L [m]	N [0]	± [0]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	Remarques
1.0	–	–	–	1,10	0.9	0	1.5	Entrée
1.1	5.24	83	–35	1.30	0	0.5	0.8	
1.2	6.30	78	–32	0	0.8	0.3	1.2	Deuxième spit, sommet du puits
1.3	9.54	–	–90	0	0.8	11.5	1.6	
1.4	4.46	121	+2	0	0.7	0.2	1.4	Départ en méandre
1.5	5.82							

Fig. 3.20 Inscription de la distance entre 1.4 et 1.5

Lorsque l'on mesure, la chevillière doit être juste tendue et ne doit pas toucher d'obstacles. Une trop forte tension aura pour effet de la déformer élastiquement (la plupart des chevillières sont étalonnées pour une tension de 5 daN). Les longues visées sont à éviter car elles rendent la topographie peu précise.

Les puits sont également mesurés à la chevillière. Pour cela, une chevillière de 30 m ou même 50 m sera fort utile. Lorsque le puits à mesurer est plus long que la chevillière, le premier spéléo descend avec la chevillière, et lorsqu'il a parcouru la longueur maximum, il fixe la chevillière sur la corde (bloqueur, ou mieux cordelette attachée sur la corde) de manière à pouvoir mesurer une seconde fois la longueur maximum (attention, la «jonction» doit être exacte!) Le premier spéléo peut alors poursuivre sa descente et placer une marque (cordelette) sur la corde lorsqu'il est au bout de la chevillière. Il poursuit alors jusqu'en bas et c'est le second équipier qui récupère la chevillière et qui peut, si nécessaire mesurer encore une longueur. La corde doit rester tendue lorsque l'on mesure et le poids des équipiers ne doit pas être trop différent.

On arrive ainsi à mesurer des puits sans fractionnements qui ont trois fois la longueur de la chevillière!

Une autre méthode consiste à marquer un point contre la paroi et à effectuer une seconde mesure depuis ce repère.

3.2.5 Mesure des directions

La mesure des directions et sans nul doute la mesure la plus délicate que l'on ait à effectuer lorsque l'on réalise une topographie. Il faut tout d'abord veiller à ce que le champ magnétique aux alentours de la boussole ne soit pas perturbé par des objets métalliques: lunettes, éclairage, quincaillerie... D'autre part, le compas doit être parfaitement horizontal lors de la lecture. Enfin l'utilisateur d'un compas genre Suunto doit être sûr qu'il ne fait pas d'erreurs de lecture par suite de défauts oculaires (à vérifier par comparaison avec des équipiers).

Pour effectuer la visée, le spéléo qui porte les instruments se place le plus près possible du dernier point topo, et il vise en direction du point suivant que lui indique son équipier. Il est important de bien se placer dans l'axe entre les deux points et de bien viser le point suivant (et non la lampe frontale de son équipier).

Pour les visées en pente, on incline le compas pour viser le point suivant, puis on le ramène doucement en position horizontale, sans changer d'axe, et on attend que la rosace soit stabilisée. On incline alors à nouveau le compas (doucement) pour viser le point, et l'on revient en position horizontale. La rosace doit

Fiche No: 1/1	Cavité: 10A2			Région/zone: 10A		Mesures: A. Talon		Date: 10/6/91
	Galerie: 1			Instruments: Suunto/360/A.T.		Notes/dessin: G. Lambert		

No	L [m]	N [°]	pente [°]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	Remarques
1.0	–	–	–	1,10	0,9	0	1,5	Entrée
1.1	5,24	83	−35	1,30	0	0.5	0.8	85°
1.2	6,30	78	−32	0	0.8	0.3	1.2	Deuxième spit, sommet du puits 1.2
1.3	9,54	–	−90	0	0.8	11.5	1.6	
1.4	4,46	121	+2	0	0.7	0.2	1.4	Départ en méandre 1.4
1.5	5,82	132						

Fig. 3.21 Inscription de la direction entre 1.4 et 1.5

être stabilisée et la lecture peut être effectuée. Pour s'assurer que la mesure effectuée est correcte, on répète l'opération 3 fois et l'on prend la valeur moyenne.

Si l'on utilise des instruments genre Suunto, il faut que de la lumière pénètre par le dessus pour que la lecture soit possible.

On peut pour cela utiliser l'éclairage du casque (en le déplaçant), une petite lampe de poche (attention aux influences magnétiques), ou encore une source de lumière chimique comme les bâtons Cyalume, qui ont l'avantage de ne comporter aucune pièce métallique.

Lorsque l'on a effectué une visée (ici du point 1.4 au point 1.5), on transmet la valeur à son équipier qui l'inscrit sur la feuille topo (fig. 3.21).

3.2.6 Mesure des pentes

La mesure de la pente s'effectue selon le même principe que la mesure de direction. L'instrument doit cette fois être tenu parfaitement verticalement et l'éclairage du cadran doit se faire par le côté (utiliser la main ou le compas comme réflecteur). La pente mesurée (ici du point 1.4 au point 1.5) est communiquée à l'équipier qui prend les notes (fig. 3.22). Il faut faire particulièrement attention d'indiquer à chaque fois si la pente est positive (+) ou négative (−).

3.2.7 Mesure des sections

La section de la galerie est mesurée au niveau du point topo, à gauche, à droite, en haut et en bas. Les quatre valeurs estimées ou mesurées avec l'extrémité de la chevillière sont reportées sur la feuille topo.

Pour la visée 1.5, la section mesurée au point 1.5 est notée dans les cases correspondantes (fig. 3.23).

La section au niveau du point 1.0 est reportée sur la première ligne de la feuille.

La hauteur est mesurée verticalement et la largeur est en principe mesurée selon la bissectrice de l'angle formé par les deux visées qui se trouvent de part et d'autre du point (il faut imaginer l'axe de la visée suivante!) (fig. 3.24).

Les largeurs et les hauteurs reportées sur la feuille topo doivent bien représenter la forme générale de la section de la galerie aux alentours du point topo. Les exemples de la fig. 3.25 illustrent la manière d'effectuer les mesures de sections.

Fiche No: 1/1	Cavité: 10A2	Région/zone: 10A	Mesures: A. Talon	Date: 10/6/91
	Galerie: 1	Instruments: Suunto/360/A.T.	Notes/dessin: D. Lambert	

No	L [m]	N [0]	± [0]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	Remarques
1.0	–	–	–	1,10	0,9	0	1,5	Entrée
1.1	5,24	83	−35	1,30	0	0,5	0,8	
1.2	6,30	78	−32	0	0,8	0,3	1,2	Deuxième spit, sommet du puits 1.2 85°
1.3	9,54	–	−90	0	0,8	11,5	1,6	
1.4	4,46	121	+2	0	0,7	0,2	1,4	Départ en méandre 1.4
1.5	5,82	132	0					

Fig. 3.22 Inscription de la pente entre 1.4 et 1.5

Fiche No: 1/1	Cavité: 10A2	Région/zone: 10A	Mesures: A. Talon	Date: 10/6/91
	Galerie: 1	Instruments: Suunto/360/A.T.	Notes/dessin: D. Lambert	

No	L [m]	N [0]	± [0]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	Remarques
1.0	–	–	–	1,10	0,9	0	1,5	Entrée
1.1	5,24	83	−35	1,30	0	0,5	0,8	
1.2	6,30	78	−32	0	0,8	0,3	1,2	Deuxième spit, sommet du puits 1.2 85°
1.3	9,54	–	−90	0	0,8	11,5	1,6	
1.4	4,46	121	+2	0	0,7	0,2	1,4	Départ en méandre 1.4
1.5	5,82	132	0	0,8	0	0,3	1,5	

Fig. 3.23 Inscription des largeurs et hauteurs au point 1.5

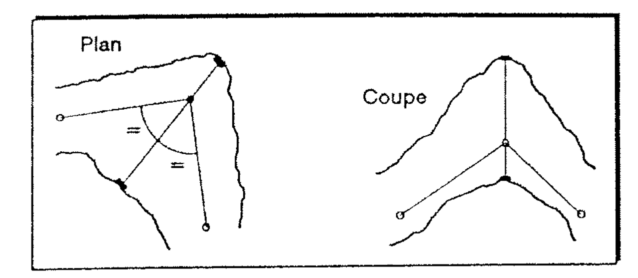


Fig. 3.24 Mesure des sections en plan et en coupe

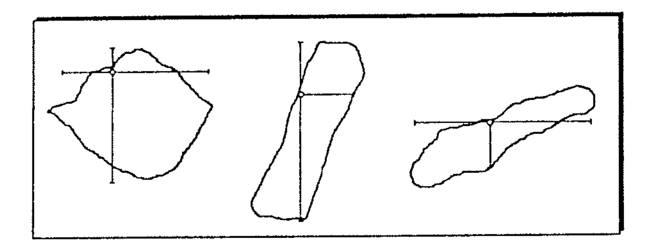


Fig. 3.25 Exemples de mesures de sections

Il est parfois utile de mesurer plusieurs dimensions et de les noter sur la feuille topo séparées par une barre oblique (par ex. 2,3 / 4,5 pour la hauteur juste avant et juste après le point topo, si celui-ci se trouve placé à un changement de section (fig. 3.26). Il faut ensuite interpréter correctement ces valeurs lors de la mise au net, qui doit alors être effectuée par la personne qui a relevé ces valeurs sous terre.

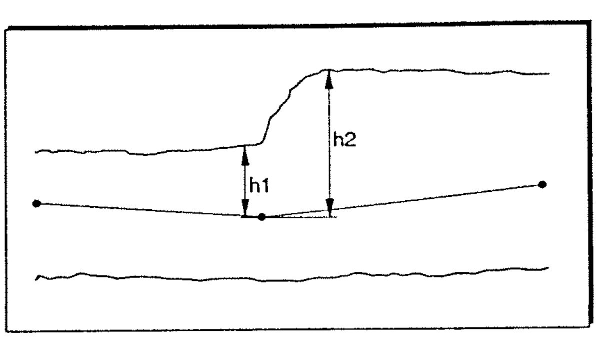


Fig. 3.26 Mesure de deux hauteurs au même point

On complétera les mesures par des croquis de la section au niveau du point topo. Ces petits dessins qu'on peut faire à l'échelle (par exemple 1 m --> 1 cm) peuvent être dessinés dans la colonne «Remarques» ou au verso de la feuille topo. On indiquera à côté de

Fiche No: 1/1	Cavité: 10A2	Région/zone: 10A	Mesures: A. Talon	Date: 10/6/91
	Galerie: 1	Instruments: Suunto/360/A.T.	Notes/dessin: G. Lambert	

No	L [m]	N [°]	∢ [°]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	Remarques
1.0	–	–	–	1,10	0,9	0	1,5	Entrée
1.1	5,24	83	−35	1,30	0	0,5	0,8	
1.2	6,30	78	−32	0	0,8	0,3	1,2	Deuxième spit, sommet du puit
1.3	9,54	–	−90	0	0,8	11,5	1,6	
1.4	4,46	121	+2	0	0,7	0,2	1,4	Départ en méandre
1.5	5,82	132	0	0,8	0	0,3	1,5	

Fig. 3.27 Croquis de sections

chaque dessin de section le numéro du point topo. De plus, si la section est une section de puits, on indiquera une direction mesurée avec le compas (fig. 3.27).

3.2.8 Remarques

Commençons par dire quelques mots de la partie supérieure de la feuille topo. C'est là que l'on reportera toutes les données générales concernant la cavité, les

Fiche No: 1/1	Cavité: 10A2	Région/zone: 10A	Mesures: A. Talon	Date: 10/6/91
	Galerie: 1	Instruments: Suunto/360/A.T.	Notes/dessin: G. Lambert	

No	L [m]	N [°]	± [°]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	Remarques
1.0	–	–	–	1,10	0,9	0	1,5	Entrée
1.1	5,24	83	−35	1,30	0	0.5	0.8	85°
1.2	6,30	78	−32	0	0.8	0.3	1,2	Deuxième spit, sommet du puits 1.2
1.3	9,54	–	−90	0	0.8	11.5	1,6	
1.4	4,46	121	+2	0	0.7	0.2	1,4	Départ en méandre 1.4
1.5	5,82	132	0	0,8	0	0,3	1,5	

Fig. 3.28 Unités des mesures d'angles (Degrés)

instruments utilisés (marque, unité, propriétaire) et le nom des deux «topographes». Dans l'en-tête des colonnes «Direction» et «Pente», on notera l'unité, degrés ou grades, dans laquelle les angles sont mesurés (fig. 3.28).

Dans la colonne «Remarques», en plus des croquis de sections décrits au paragraphe précédent, on notera des informations concernant la morphologie de la cavité (méandre, puits, cheminée...) et toutes les particularités que l'on relève durant une topographie.

Si l'on effectue des mesures de température, on notera le résultat avec heure et date. Si l'on constate la présence de glace ou de neige, il faudra le relever et mentionner la date. La présence d'un courant d'air est également à relever avec heure, date, direction et intensité (faible, moyen, fort). En bref, toute constatation (présence de faune, d'ossements...) faite durant la topographie a sa place dans la colonne «Remarques» (fig. 3.29).

3.2.9 Le dessin

Pour permettre, lors de la mise au net de la topo, de rendre compte le plus fidèlement possible de l'aspect de la cavité, il est nécessaire de dessiner, au dos de la feuille topo, un croquis détaillé des galeries topographiées. Pour cela, on utilise la vue en plan, la coupe développée et les sections.

La vue en plan est la projection des galeries sur un plan horizontal. On peut s'imaginer le plan comme étant l'ombre que dessinerait la cavité sur un plan si on l'éclairait depuis dessus.

La coupe développée est une coupe verticale qui suit le cheminement des galeries. Ce mode de représentation est quelque peu délicat dans des cavités complexes, mais il a l'avantage de donner une bonne image de la morphologie de la galerie et des différents obstacles

Fiche No: 1/1	Cavité: 10A2 Galerie: 1	Région/zone: 10A Instruments: Suunto/360/A.T.	Mesures: A. Talon Notes/dessin: D. Lambert	Date: 10/6/91

No	L [m]	N [°]	± [°]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	Remarques
1.0	–	–	–	1,10	0.9	0	1.5	Entrée
1.1	5.24	83	–35	1.30	0	0.5	0.8	85°
1.2	6.30	78	–32	0	0.8	0.3	1.2	Deuxième spit, sommet du puits 1.2
1.3	9.54	–	–90	0	0.8	11.5	1.6	
1.4	4.46	121	+2	0	0.7	0.2	1.4	Départ en méandre 1.4
1.5	5.82	132	0	0.8	0	0.3	1.5	

Fig. 3.29 Remarques

que l'explorateur doit franchir. Les sections sont des tranches très fines que l'on peut couper dans une galerie ou dans un puits. On peut ainsi illustrer la forme des galeries topographiées (fig. 3.30).

Lors de chaque visée, on reporte sur le plan et sur la coupe développée la position du point topo ainsi que son numéro. On positionne ces points «à l'oeil», le plus exactement possible.
On dessine ensuite le contour de la galerie en se fixant une échelle (par exemple 1 m = 5 mm), et on reporte les détails observés en les dessinant ou à l'aide de signes conventionnels (fig. 3.31).

En plan, on dessine le fond de la galerie, ce que l'on voit depuis dessus. En coupe, on représente l'aspect des parois (strates visibles, rebords...) et on essaye de donner une impression de relief (arcs d'ellipses dans les puits, contours de méandres...)

Ce travail de dessin demande du soin, des mains propres (porter des gants pour progresser) et un crayon bien affûté!
Chaque trait représente quelque chose et les parois ne doivent pas être décorées de traits fantaisistes pour faire beau!
L'entrée de la cavité est dessinée dans son contexte, et les alentours sont représentés.

3.2.10 Signes conventionnels

Afin de pouvoir faire figurer un maximum d'indications utiles sur une topo, il est commode d'utiliser des signes conventionnels. Ces signes doivent être utilisés chaque fois qu'il n'est pas possible de dessiner de manière figurative un élément observé sous terre.

L'UIS (Union Internationale de Spéléologie) a publié une série assez complète de signes conventionnels. Dans la pratique, une partie seulement de ces symboles sont utilisés et on a tendance à s'écarter quelque peu de la «norme UIS»!
Les figures 3.32 a, b, c, d, e présentent les symboles que l'on utilise le plus couramment.

3.2.11 Les relevés géologiques

Afin de permettre une meilleure compréhension d'une cavité, il est intéressant de voir figurer sur la topographie des informations concernant la géologie. Deux types d'observations sont susceptibles d'être faites sous terre par le spéléo-topographe. Il s'agit d'une part de mesurer le pendage des couches, et d'autre part de relever les fractures, diaclases et failles, qui sont visibles dans la cavité.

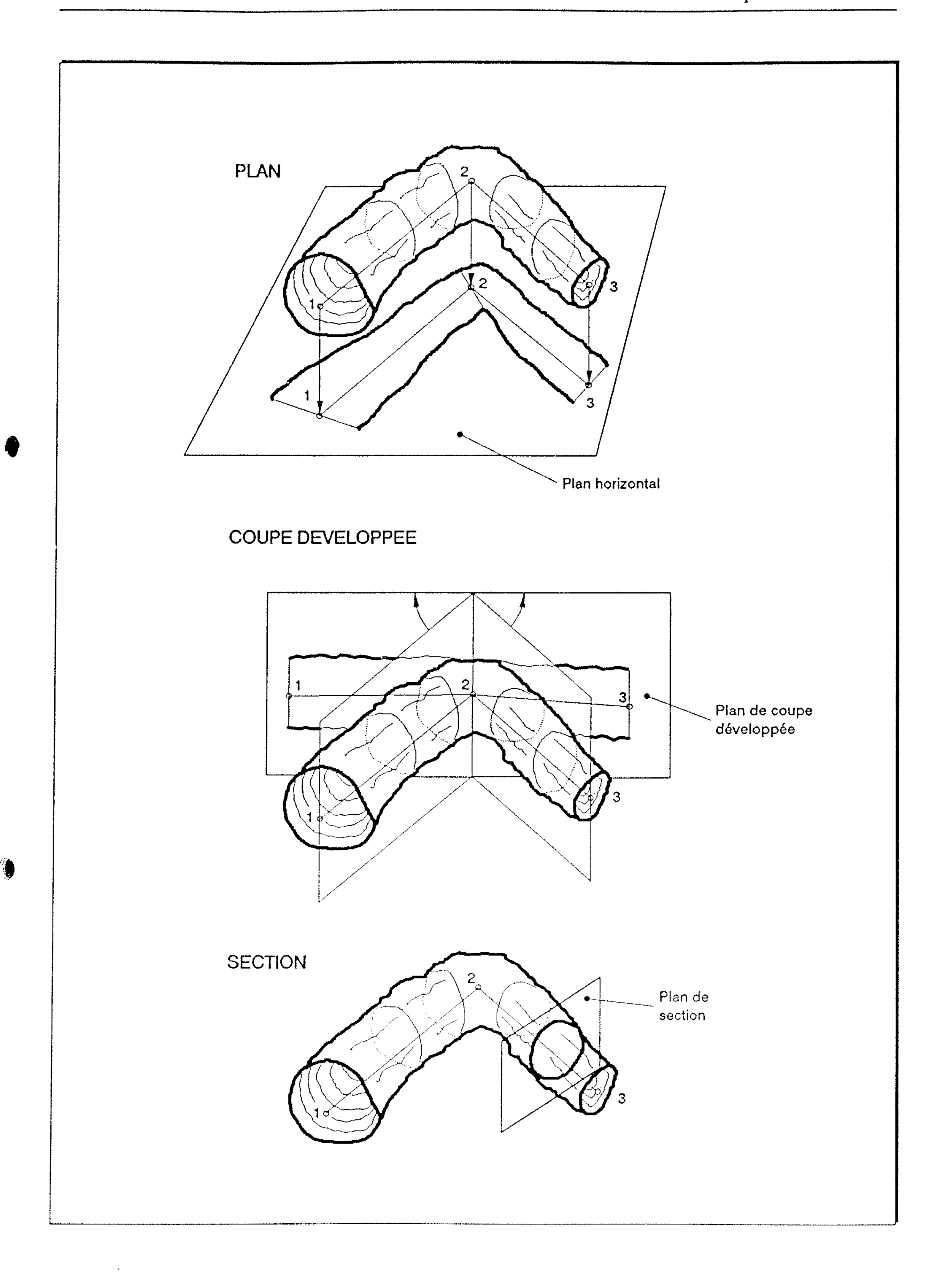


Fig. 3.30 Modes de représentation en plan, en coupe et en section

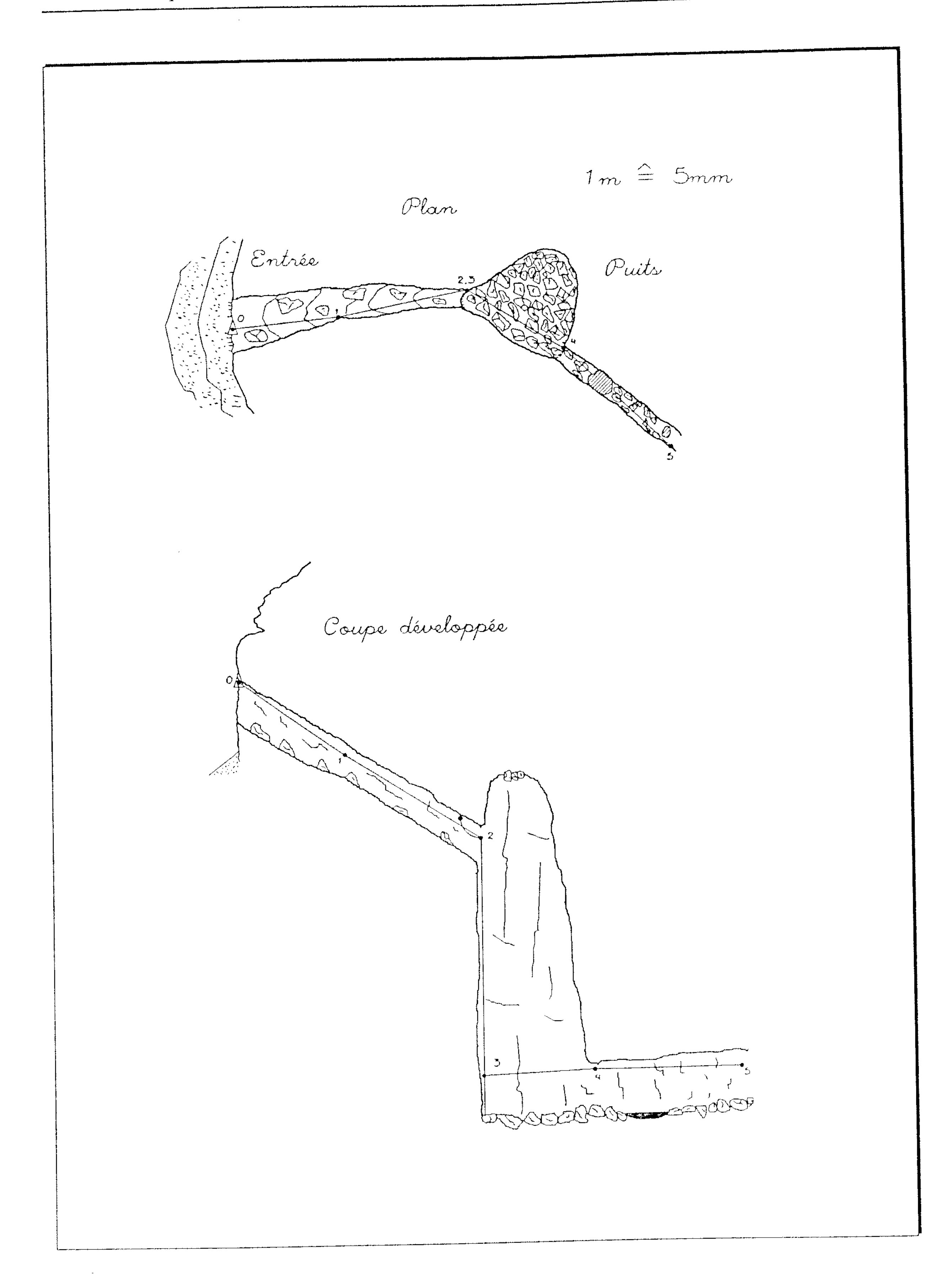


Fig. 3.31 Dessin en plan et en coupe

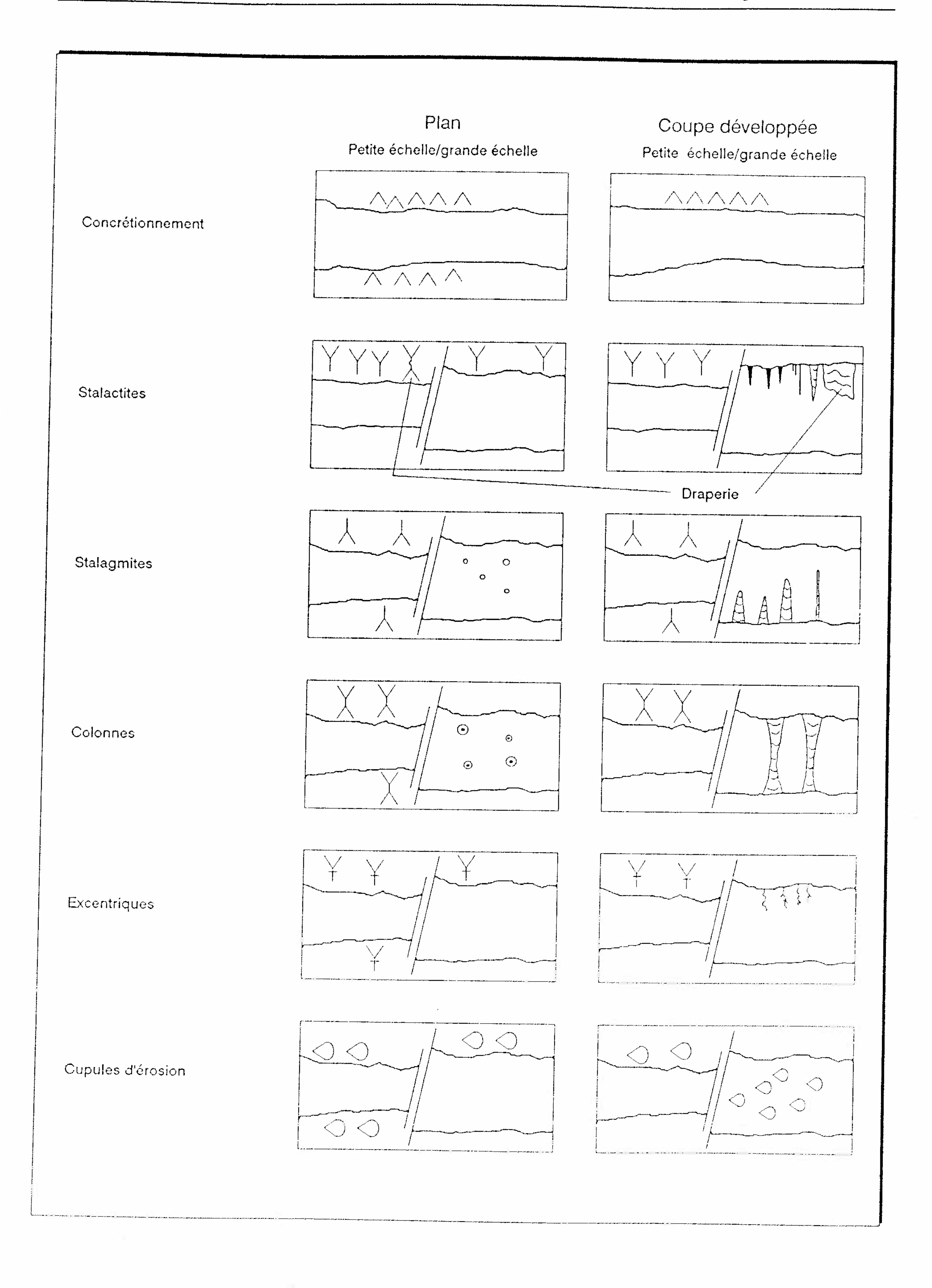


Fig. 3.32a Signes conventionnels usuels

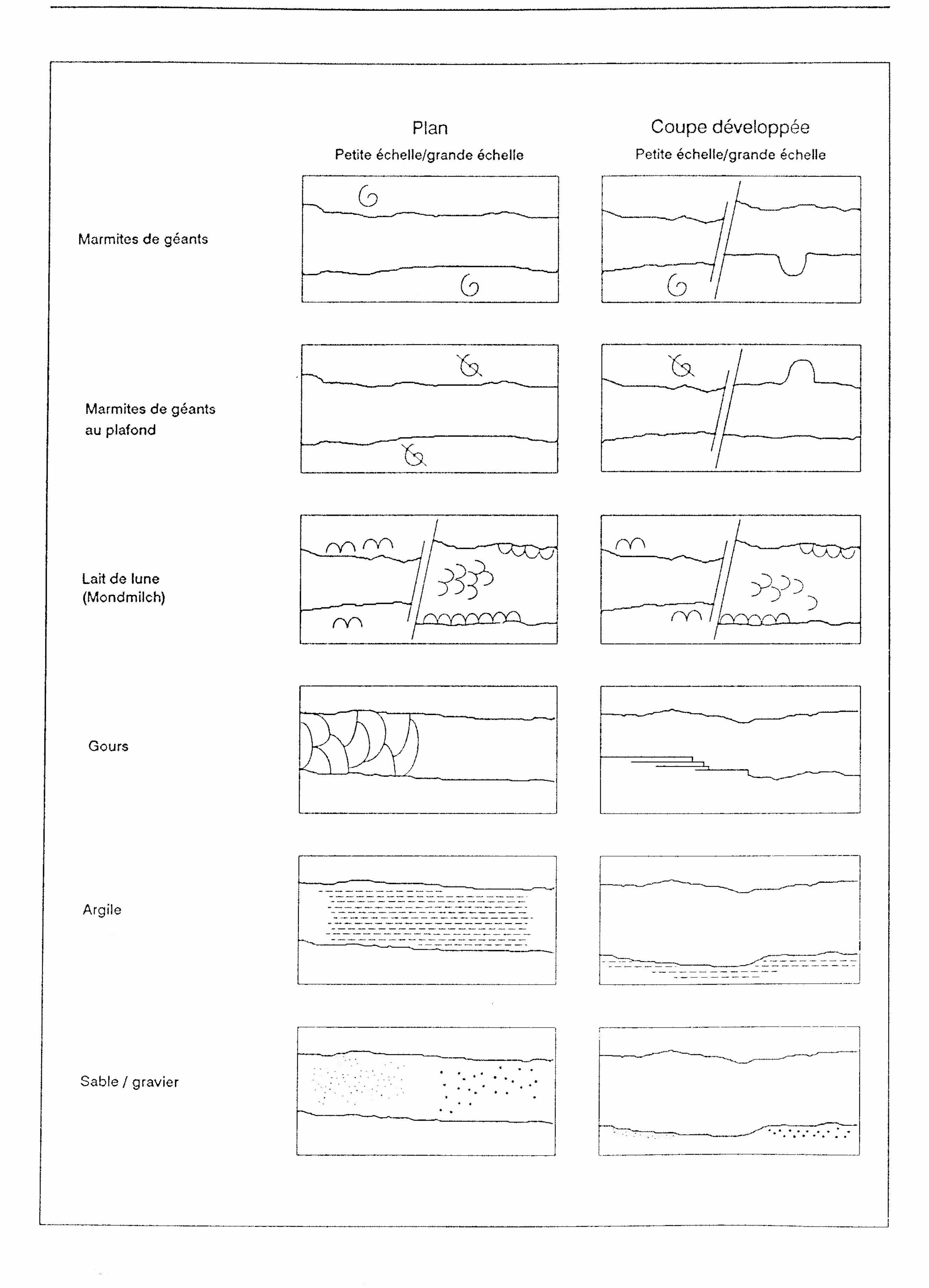


Fig. 3.32b Signes conventionnels usuels

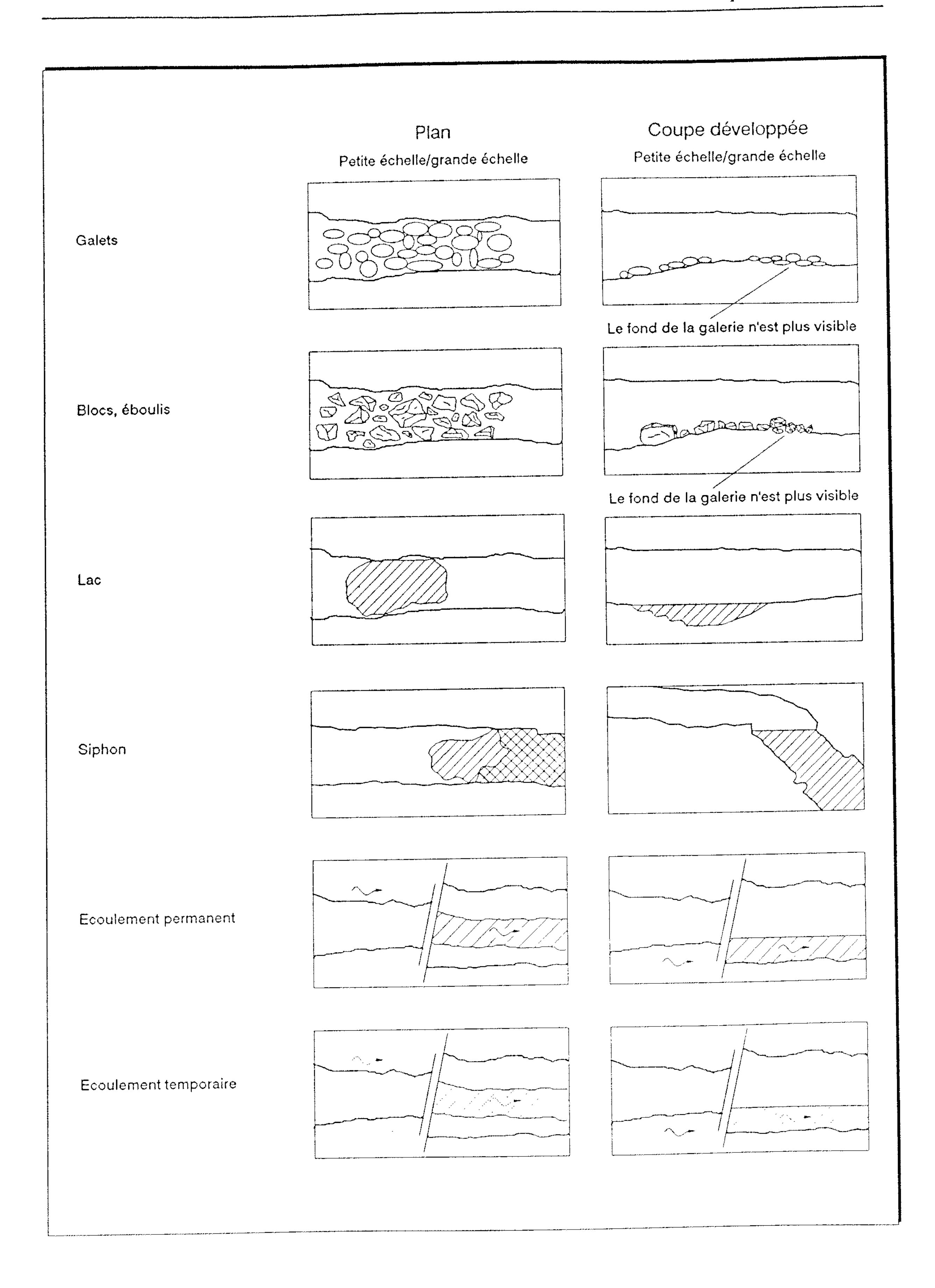


Fig. 3.32c Signes conventionnels usuels

Plan

Petite échelle/grande échelle

Coupe développée

Petite échelle/grande échelle

Neige (avec date de l'observation)

10/6/91

10/6/91

Glace (avec date de l'observation)

10/6/91

10/6/91

Ressaut

Cheminée (avec hauteur en m)

+20

Puits (avec profondeur en m)

−20

Pente

Fig. 3.32d Signes conventionnels usuels

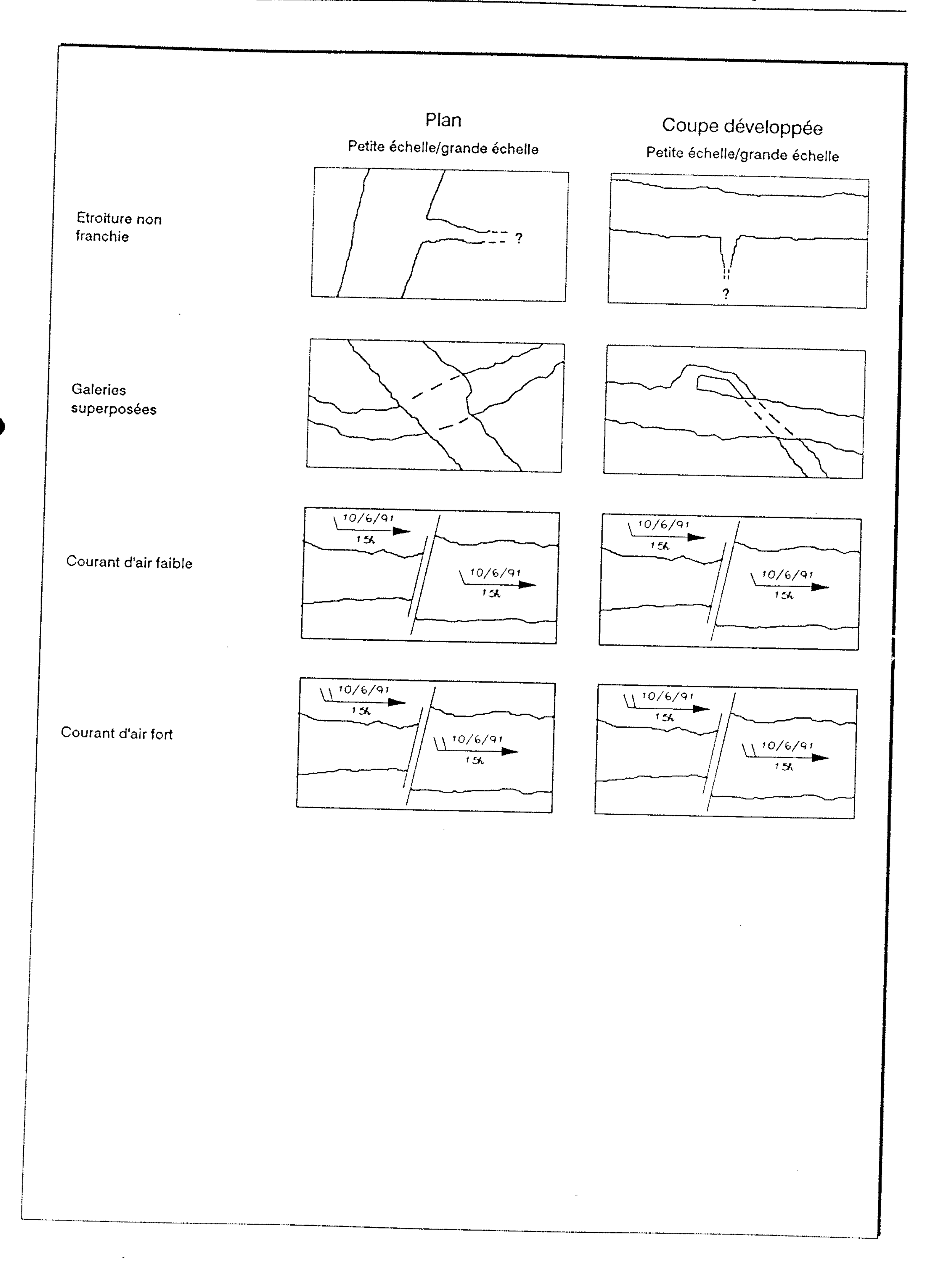


Fig. 3.32e Signes conventionnels usuels

Le pendage est défini par deux angles, l'azimut de la plus grande pente (A) et la pente (P) (fig. 3.33).

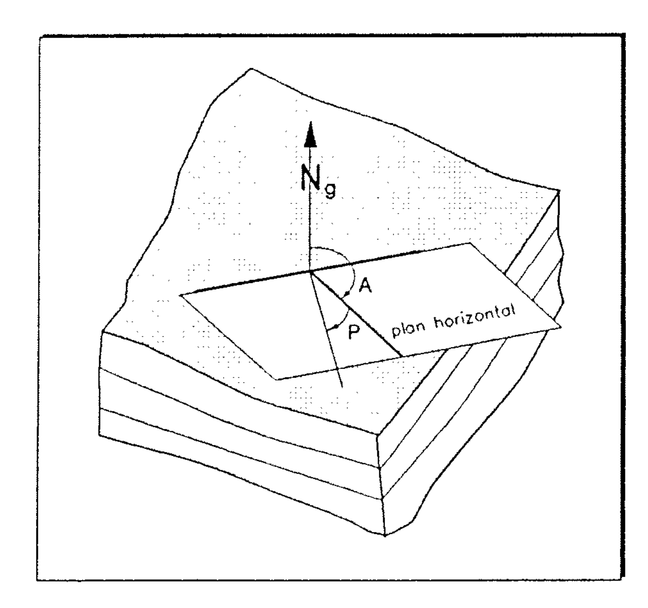


Fig.3.33 Pendage des couches

Pour mesurer ces deux angles, on place la planchette topo sur la surface d'une couche en prenant soin de choisir un endroit dont la surface est régulière. On mesure ensuite à l'aide du clisimètre, que l'on fait tourner, la pente maximum (P), puis l'azimut (A) de cette pente maximum à l'aide de la boussole (il faut corriger la valeur lue de la déclinaison. Voir 4.2.1). Les valeurs ainsi mesurées se notent sur le plan à l'aide d'un symbole conventionnel (fig. 3.34) en utilisant trois chiffres pour l'azimut et deux chiffres pour la pente.

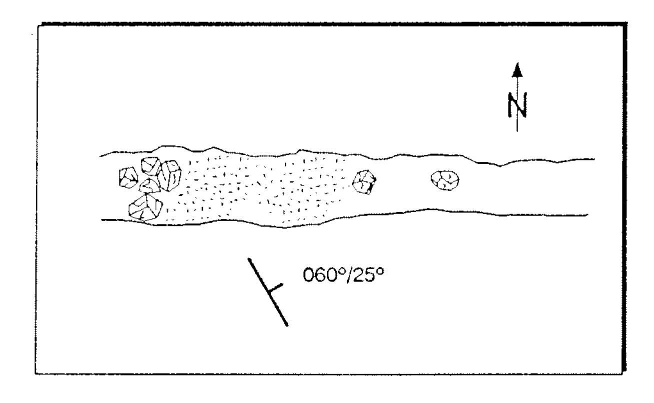


Fig. 3.34 Indication du pendage sur le plan

Sur la coupe développée, on dessinera par endroits l'inclinaison (il ne s'agit pas du pendage) des couches telle qu'elle apparaît sous terre (fig. 3.35).

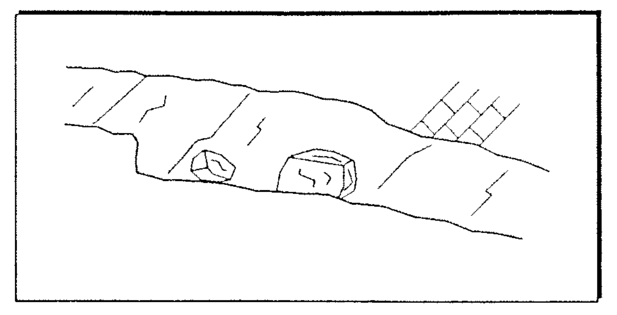


Fig. 3.35 Indication de l'inclinaison des couches sur la coupe développée

Les fractures observées sous terre seront notées sur le plan et éventuellement sur la coupe développée à l'aide de traits mixtes (fig. 3.36).

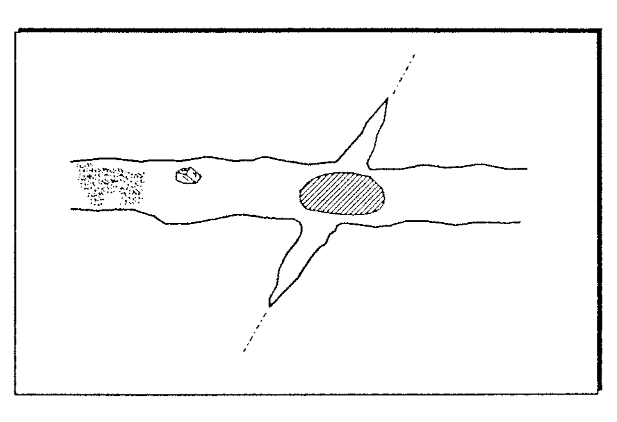


Fig. 3.36 Fractures

Si une galerie traverse deux fois le même plan de faille, on indiquera à l'aide d'une flèche qu'il ne s'agit pas de deux fractures différentes (fig. 3.37).

3.2.12 Photographie

La plupart du temps, les «spéléologues-photographes» sont principalement intéressés par l'aspect esthétique de la photographie. Il est cependant très utile de réaliser parallèlement à une topographie des prises de vues documentaires qui font partie intégrante des données relatives à une cavité. Les revues spéléos en couleurs étant encore rares, on utilisera en général pour cela un film noir-blanc, qui donnera de meilleurs résultats lors d'une publication future.
Chaque photo doit comporter un élément de dimension connue (spéléo, marteau, mousqueton...) qui sert d'échelle.
Il est également nécessaire de noter où a été réalisée chaque prise de vue.
Outre la photographie documentaire, il est possible

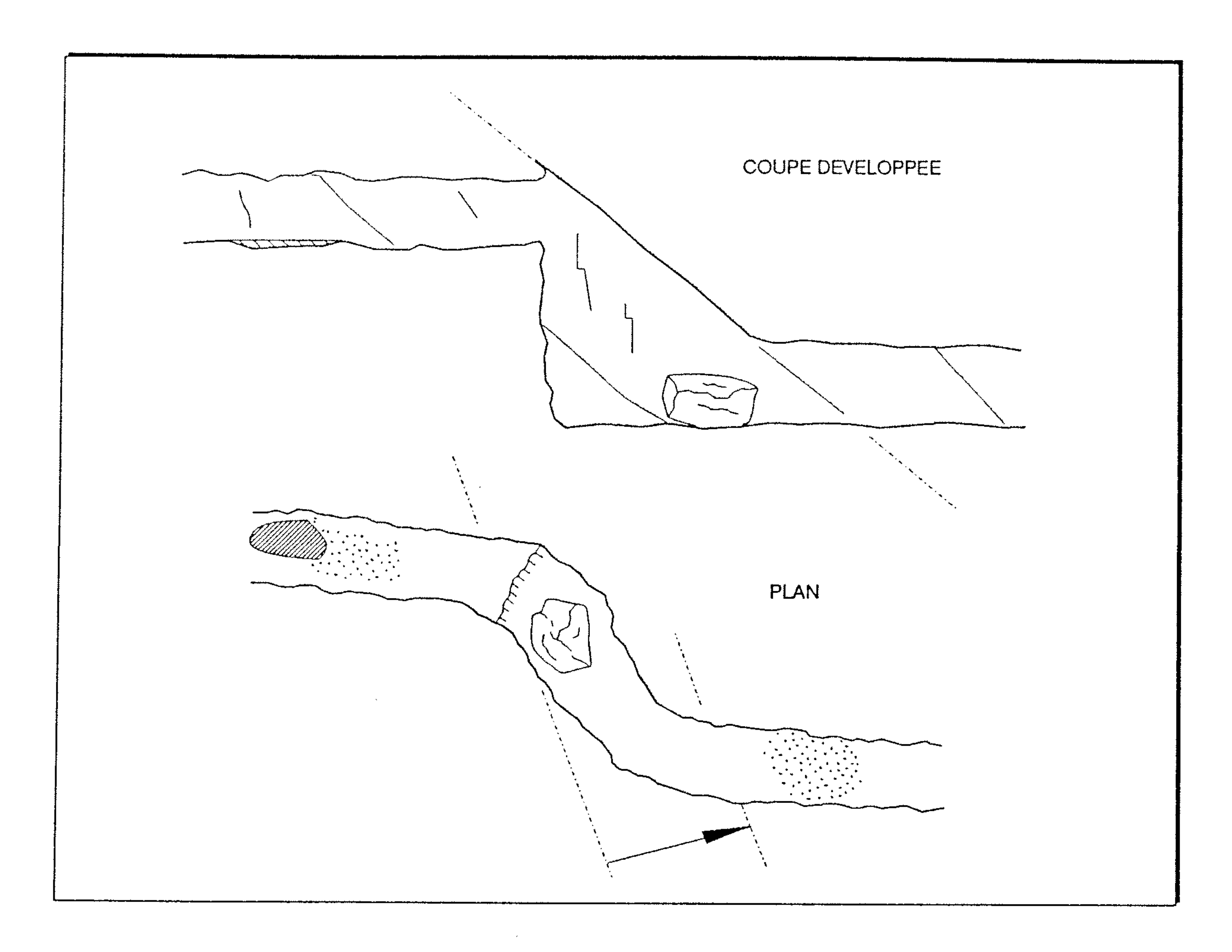


Fig.3.37 Fracture traversée deux fois

d'utiliser la photo comme aide lors du dessin de certains détails (groupe de concrétions, plancher, sections...)

3.2.13 Description

Un élément parfois négligé lors du levé d'une topographie est la description. Complément au dessin, la description permet à une personne ne connaissant pas une cavité d'imaginer sa morphologie, les difficultés de progression et toutes les particularités que l'explorateur a relevé. Il est important de prendre des notes tout au long de l'exploration afin d'avoir ensuite la matière nécessaire à la rédaction de la description.

3.2.14 Situation et accès à la cavité

Une topographie, aussi belle soit-elle, sera sans intérêt si l'on n'arrive plus à retrouver la cavité qu'elle décrit! Il faut donc déterminer soigneusement les coordonnées de l'entrée et décrire clairement par quel chemin il est possible d'accéder à la cavité.
Le meilleur moyen de déterminer les coordonnées de l'entrée d'une cavité est sans doute de faire un cheminement en surface à partir d'un point identifiable précisément sur la carte (1:25'000 ou 1:10'000). On procède exactement de la même manière que sous terre pour cheminer entre le point connu et l'entrée. Si le terrain le permet, on effectue des visées de longueur maximum, 30 m ou 50 m, suivant la chevillière utilisée.

Une autre méthode, plus rapide mais moins précise, consiste à viser trois points, répartis sur 360°, que l'on retrouve exactement sur la carte (sommets, croisements de routes...)
Dans tous les cas, l'altitude de l'entrée sera mesurée à l'altimètre, il sera ainsi possible de faire un vérification en comparant la valeur mesurée avec celle lue sur la carte.
En plus des coordonnées, il est important de décrire la situation et l'accès à la cavité. La situation décrit la cavité dans son contexte: en forêt, en falaise, dans la zone x du massif y... L'accès décrit précisément, en partant d'un endroit facile à retrouver (aussi dans 100 ans!), le chemin à suivre pour atteindre l'entrée de la cavité. Une description de l'entrée sera une aide précieuse pour localiser la cavité que l'on cherche.

Creux des Neiges

525.375/180.315 1255 m St-Croix

E.Vogel, R.Wenger 15.6.86

4. Les calculs

4.1 Instruments de calcul

Il y a une dizaine d'années encore, la règle à calcul et les tables trigonométriques faisaient partie intégrante du matériel utilisé par les spéléos-topographes.
De nos jours, ces instruments sont avantageusement remplacés par des calculatrices électroniques, que l'on peut se procurer pour un coût très raisonnable. Il faut toutefois veiller à choisir un modèle qui corresponde bien à notre application.

Dans les chapitres suivants, nous allons passer en revue les principaux types de calculatrices qui peuvent entrer en considération.

4.1.1 Calculatrices scientifiques

De nombreux fabricants offrent des calculatrices dites «scientifiques» qui correspondent bien aux besoins des spéléologues.
Les fonctions nécessaires pour le calcul des topographies sont les suivantes:

- SINUS (SIN)
- COSINUS (COS)
- Conversion rectangulaire-polaire (R > P)
- Conversion polaire-rectangulaire (P > R)
- Conversion degrés-radians (DEG > RAD)
- Conversion radians-degrés (RAD > DEG)
- Conversion heures-minutes-secondes (HMS)

D'autre part, une ou deux mémoires peuvent rendre service pour le stockage des résultats intermédiaires, lors de calculs en chaîne (fig 4.1).

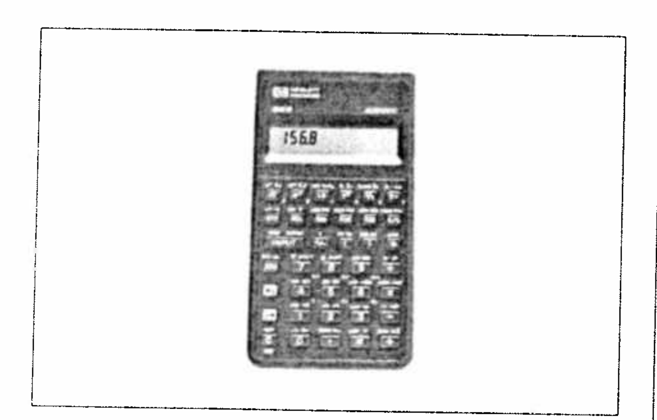


Fig. 4.1 Calculatrice scientifique

4.1.2 Calculatrices programmables

La longueur et la monotonie des calculs qui accompagnent la réalisation d'une topographie, font que bon nombre de spéléologues utilisent des calculatrices programmables. Ces calculatrices permettent d'automatiser les séquences de calcul, de simplifier ainsi la tâche du spéléologue et de diminuer les risques d'erreurs (fig. 4.2).

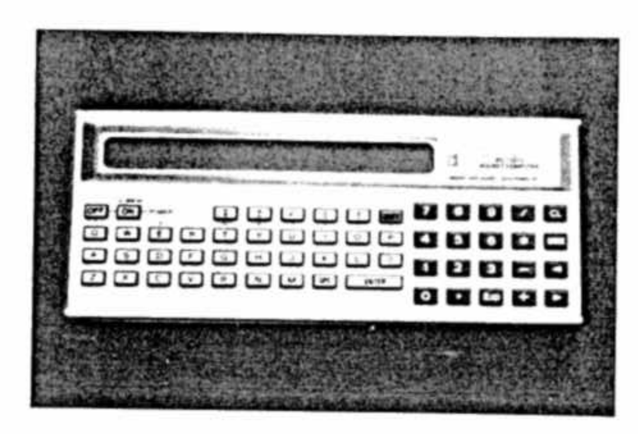


Fig. 4.2 Calculatrice programmable en Basic

Avec une telle calculatrice, il est possible de réaliser un programme qui calcule automatiquement les coordonnées de chaque point. La figure 4.3 présente l'organigramme d'un tel programme dont le listing en BASIC est donné, à titre d'exemple, à la figure 4.4.

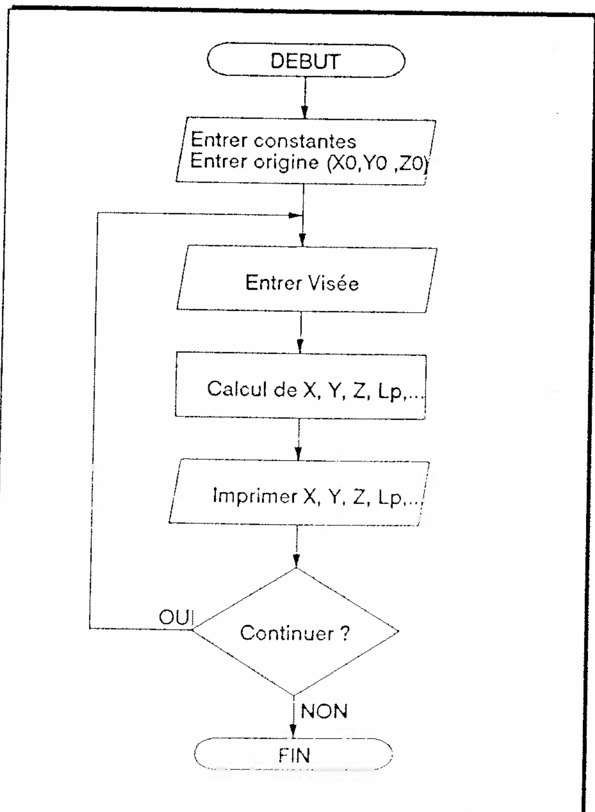


Fig. 4.3 Organigramme

```
10    REM Initialisation
20    CLS
30    PI=3.14159
40    INPUT Déclinaison (Degrés, - si Ouest) : ,DEC
50    INPUT Echelle : 1/,ECH
60    INPUT Echelle de la boussole (Deg ou Grad) : ,BOU$
70    IF BOU$ <> Grad AND BOU$ <> Deg THEN GOTO 50
80    INPUT Echelle du clisimètre (Deg ou Grad) : ,CLI$
90    IF CLI$ <> Grad AND CLI$ <> Deg THEN GOTO 70
100   REM
110   REM Origine des coordonnées
120   INPUT Origine des coordonnées (en mm) Y : ,Y
130   INPUT                                 X : ,X
140   INPUT                                 Z : ,Z
150   REM
160   REM Entrée des données
170   VIS=1
180   PRINT Visée No ,VIS
190   INPUT Longueur : ,L
200   INPUT Direction : ,D
210   INPUT Pente : ,P
220   REM
230   REM Calculs
240   IF BOU$ = Grad THEN D=D/400*360
250   IF CLI$ = Grad THEN P=P/400*360
260   AZ=D+DEC
270   L=L/ECH*1000
280   LP=L*COS(P/180*PI)
290   Y=Y+LP*SIN(AZ/180*PI)
300   X=X+LP*COS(AZ/180*PI)
310   Z=Z+L*SIN(P/180*PI)
320   REM
330   REM Sortie des résultats
340   PRINT Visée No ,VIS
350   PRINT L [mm] : ,L
360   PRINT Lp [mm] : ,LP
370   PRINT Az [Deg]: ,AZ
380   PRINT Y  [mm] : ,Y
390   PRINT X  [mm] : ,X
400   PRINT Z  [mm] : ,Z
410   VIS=VIS+1
420   REM
430   REM fin des calculs ?
440   INPUT Voulez-vous calculer un autre point ? (o/n) ,CON$
450   IF CON$ <> o AND CON$ <> n THEN GOTO 420
460   IF CON$ = o THEN GOTO 170
470   END
```

Fig. 4.4 Listing en GW–BASIC

4.1.3 Ordinateurs personnels

Bien qu'il ne soit pas envisageable d'acheter un ordinateur personnel uniquement pour les besoins de la topographie spéléo, nous devons constater qu'un certain nombre de spéléos possèdent ou ont accès à un ordinateur personnel.
Dans cette optique, nous donnons ici, à titre d'exemple, l'organigramme d'un programme de calcul topo utilisable sur PC (fig. 4.5).

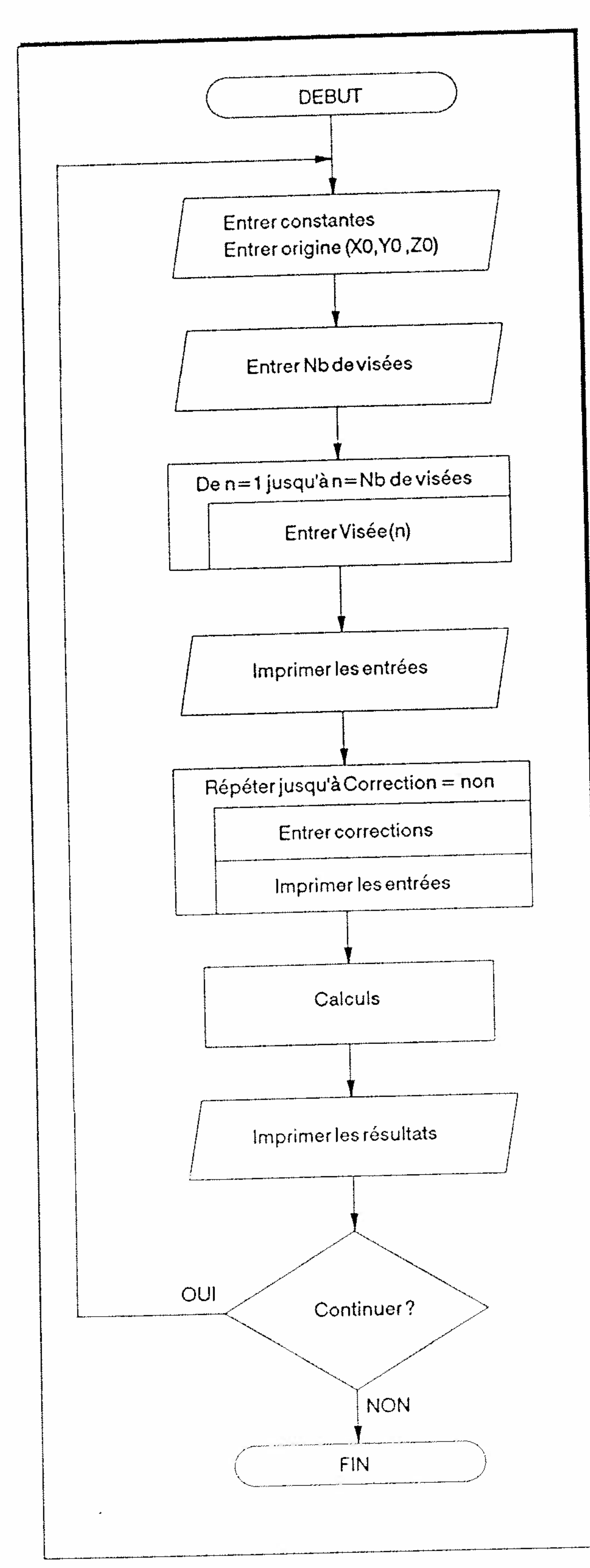


Fig. 4.5 Organigramme

Dans ce programme, on traite la cavité galerie par galerie. On commence par entrer toutes les données relatives à une galerie; ces données sont ensuite imprimées (fig. 4.6) pour contrôle et corrigées si nécessaire.

No	L	D	P	←	→	↑	↓
1.1	5.24	83	-35	1.10	0.90	0.00	1.50
1.2	6.30	78	-32	1.30	0.00	0.50	0.80
1.3	9.54	0	-90	0.00	0.80	0.30	1.20
1.4	4.46	121	2.00	0.00	0.80	11.50	1.60
1.5	5.82	132	0.00	0.00	0.70	0.20	1.40

Fig.4.6 Impression des entrées

On calcule alors les coordonnées de tous les points, en tenant compte des coordonnées du point de départ et, s'il y a lieu (boucle), les coordonnées du point d'arrivée. Enfin les résultats sont imprimés sous forme de tableau (fig. 4.7).

Nous renonçons volontairement à donner ici le listing d'un tel programme, qui, on s'en doute, ne tient pas sur une page A4!

Le stade suivant consiste évidemment à charger l'ordinateur (PC ou grand système) de faire les calculs (y compris la correction des boucles!) et de réaliser directement le dessin de la cavité en plan ou en perspective. C'est ce qu'a fait Martin HELLER dans son excellent programme TOPOROBOT. Ce programme, sur lequel sont actuellement réalisées les topographies des plus grands réseaux de Suisse, permet d'une part de dessiner un canevas sur lequel le «topographe» pourra dessiner l'habillage de la galerie et d'autre part de présenter des vues en perspective qui donnent une remarquable vue d'ensemble d'un réseau (fig. 4.8).

4.1.4 Fiches de mise au net

Les fiches topo que le spéléologue ramène à la surface sont souvent sales et il est recommandé de reporter les mesures effectuées sous terre sur une feuille de mise au net. La figure 4.9 présente une telle feuille, sur laquelle des colonnes sont réservées au report des

No	L	Lp	A	Y	X	Z	←	→	↑	↓
1.1	26.2	21.3	82.3	21.1	2.9	-15.0	6.5	0.0	2.5	4.0
1.2	31.5	26.7	77.3	47.1	8.8	-31.7	0.0	4.0	1.5	6.0
1.3	47.7	0.0	0.0	47.1	8.8	-79.4	0.0	4.0	57.5	8.0
1.4	22.3	22.3	120.3	66.4	-2.5	-78.6	0.0	3.5	1.0	7.0
1.5	29.1	29.1	131.3	88.3	-21.7	-78.6	4.0	0.0	2.4	7.5

Fig. 4.7 Impression des résultats

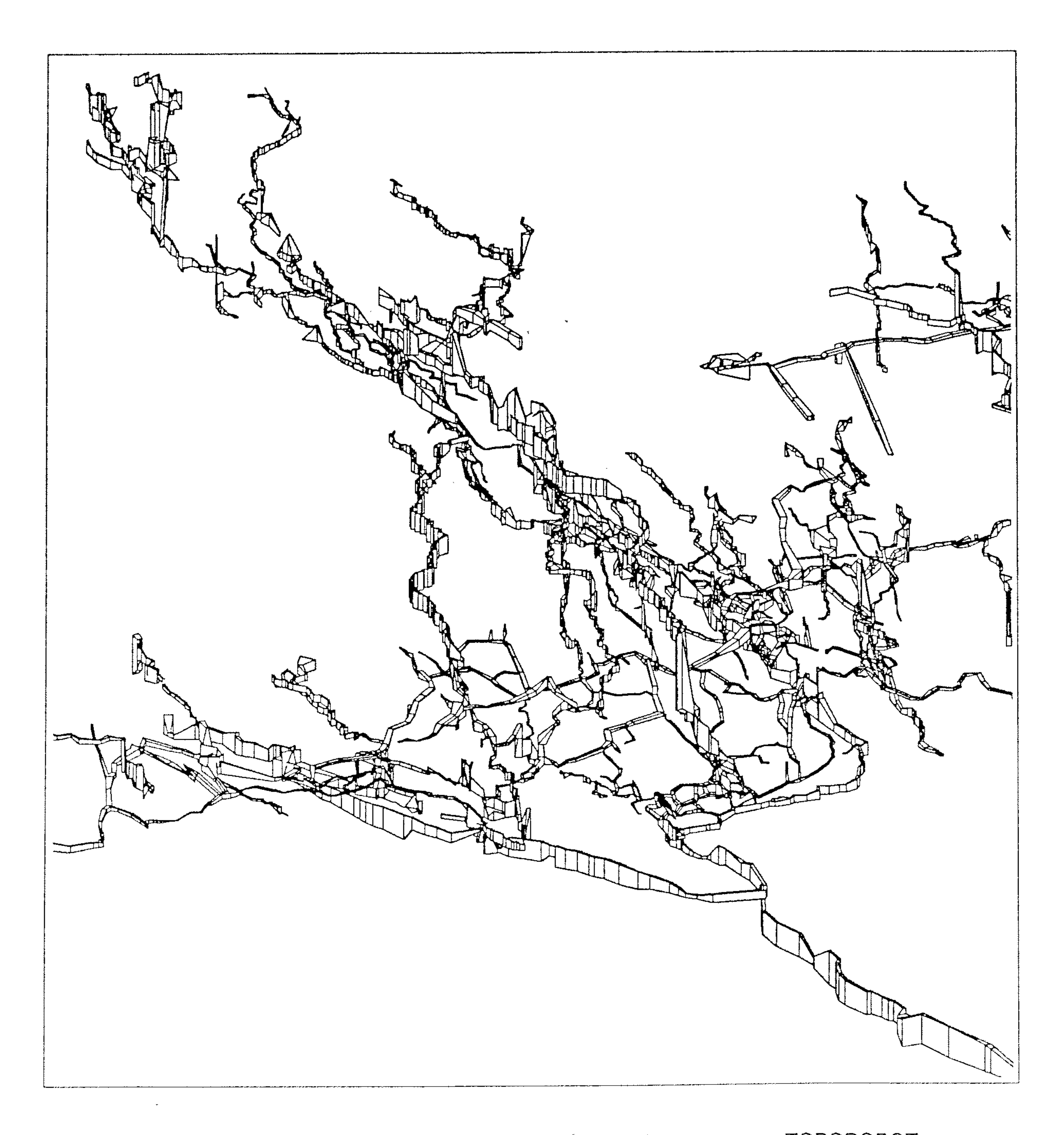


Fig. 4.8 Topographie en perspective effectuée avec le programme TOPOROBOT

Fiche No:	Cavité:	Coordonnées:	Echelle:	Instruments:	Levé par:	Date:
	Galerie:	Y	1/	L:	Mesures:	
	Commune:	X	Déclinaison:	D:	Notes/dessin:	
	Canton:	Z		P:	Calculé par:	

No	L [m]	D [ ]	P [ ]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	L [mm]	Lp [mm]	A [ ]	Y [mm]	X [mm]	Z [mm]	← [mm]	→ [mm]	↑ [mm]	↓ [mm]	Remarques

Fig. 4.9 Feuille de mise au net

mesures faites sous terre. Les autres colonnes sont destinées à être remplies au fur et à mesure que les calculs sont effectués.
Il va de soi que l'utilisation d'un ordinateur muni d'une imprimante rend inutile l'emploi d'une telle feuille. Dans ce cas, on entrera directement les données au clavier, et c'est l'ordinateur qui imprimera une liste «au propre».

Il est conseillé de conserver les fiches topo (même sales!), car il peut être utile de pouvoir consulter les notes originales en cas de problème.

4.2 Méthodes de calcul

Si le calcul d'une topo spéléo peut s'effectuer avec une simple calculatrice de poche et l'aide d'une fiche de mise au net, il est naturellement aussi possible de confier ce travail à un ordinateur.
Dans ce chapitre, nous allons exposer, pas par pas, deux méthodes de calcul qui peuvent être utilisées par chacun, sans nécessiter de connaissances particulières ou de matériel sophistiqué. Nous utiliserons pour cela les valeurs des relevés exposés au chapitre précédent que nous avons au préalable reportés sur une feuille de mise au net.

4.2.1 Le système des coordonnées nationales

En Suisse, l'origine du système de coordonnées est placé à Berne et correspond arbitrairement à 600.000 en longitude et 200.000 en latitude. A partir de cette base, les latitudes vont de 62.000 à 302.000 et les longitudes de 480.000 à 847.500; d'où impossibilité de confondre ces deux données numériques. L'axe horizontal porte la lettre Y et l'axe vertical la lettre X (c'est le contraire du système mathématique!). Les coordonnées sont toujours citées dans l'ordre décroissant des valeurs, c'est-à-dire Y, X, Z pour longitude, latitude, altitude (fig. 4.10).

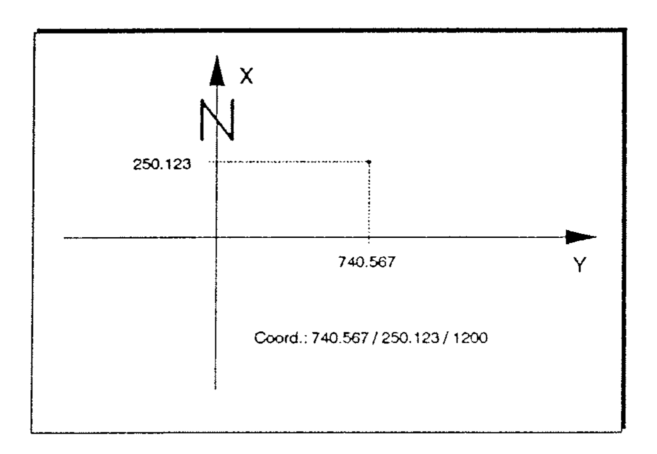


Fig. 4.10 Système des coordonnées nationales

4.2.2 La déclinaison

S'il semble que le principe de la boussole ait été découvert aux environs du XIe siècle par les Chinois, il fallut attendre jusqu'au XVIIe siècle pour que l'Anglais William Gilbert émette l'idée selon laquelle la Terre elle-même se comporte comme un gigantesque aimant. Ce «gigantesque aimant» que l'on nomme «champ magnétique terrestre» semble être causé par les mouvements de convection qui brassent la surface du noyau liquide de la terre, dans lequel circulent des courants électriques.
Malheureusement, l'axe nord-sud de ce champ magnétique ne coïncide pas exactement avec l'axe passant par le pôle nord et le pôle sud de la terre. On fait ainsi une distinction entre le nord «géographique» et le nord «magnétique», l'angle formé entre les deux axes étant appelé «déclinaison» (fig. 4.11).

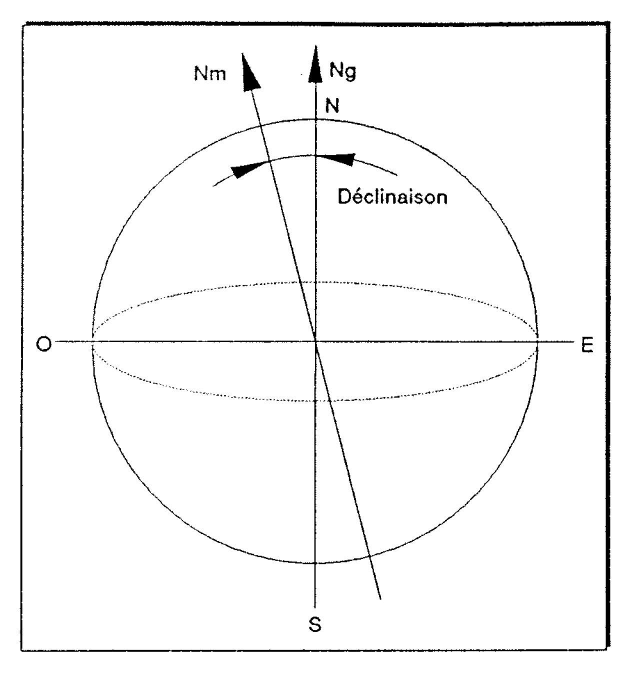


Fig. 4.11 Nord géographique et nord magnétique

Pour compliquer encore un peu les choses, le champ magnétique terrestre varie en fonction du temps. Ces variations, non régulières, sont vraisemblablement dues à des changements dans le régime de la convection à la surface du noyau de la terre. Il en résulte que la position du nord magnétique varie dans le temps par rapport au nord géographique qui, lui, reste fixe.

Nos topographies doivent donc, tout comme les cartes de géographie, être dessinées avec une référence qui ne varie pas, c'est-à-dire le nord géographique. Pour cela, il est nécessaire de corriger les valeurs mesurées à l'aide du compas en additionnant à celles-ci la déclinaison magnétique.

La valeur de la déclinaison est indiquée au bas des cartes topographiques sous la forme suivante:

La déclinaison ouest de l'aiguille aimantée est de 20 Ao/oo (1g 25c, 1o 07') au milieu de la feuille pour l'année 1988. Cette valeur se rapporte à la ligne sud-nord du quadrillage kilométrique. Elle diminue d'environ 2.6 Ao/oo (16c, 9').

Nous pouvons tirer de cet exemple, que la déclinaison est de 1° 07' (1 degré 07 minutes) ouest pour l'année

1988 et qu'elle diminue chaque année d'environ 9' (9 minutes). On peut ainsi calculer que la déclinaison sera approximativement de 40' ouest en 1991.

Nous pouvons alors convertir cette valeur «40' ouest» en une valeur décimale que l'on pourra directement utiliser pour nos calculs. Pour cela, il faut tout d'abord convertir les degrés-minutes-secondes en degrés décimaux et ensuite donner un signe + ou – à notre déclinaison.
Commençons par convertir 40' en une valeur décimale. Pour cela, il faut transformer 40' (40 minutes) en degrés:

$$40' = 40 / 60 = 0{,}66°$$

La déclinaison en degrés décimaux devient:

0,66° ouest

Il faut encore se préoccuper de remplacer la désignation «est» ou «ouest» par un signe + ou –. On voit sur la figure 4.12 que la déclinaison «ouest» doit être soustraite au nord magnétique et que la déclinaison «est» doit être ajoutée.

Dans notre exemple, la déclinaison doit donc être soustraite aux valeurs mesurées à l'aide du compas:

$$\text{Déclinaison} = -0{,}66°$$

Une fois cette valeur déterminée, elle doit être inscrite sur la feuille de mise au net, dans la zone réservée à cet usage et les valeurs corrigées des visées reportées dans la colonne correspondante (fig. 4.13).

Lorsque l'on fait appel, pour le calcul d'une topographie, à un ordinateur ou à une calculatrice programmable,

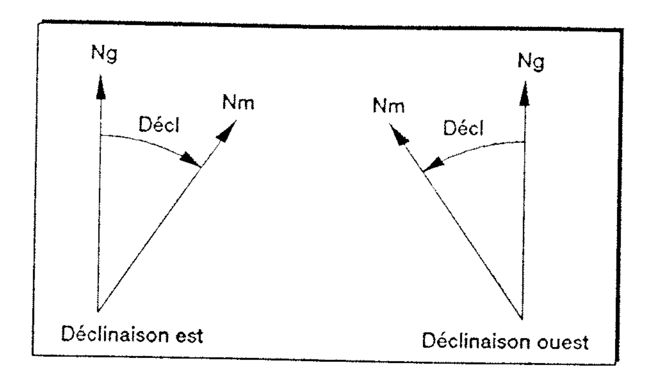


Fig. 4.12 Déclinaison «est» et «ouest»

le travail de compensation de la déclinaison est généralement effectué par le programme lui-même. L'utilisateur n'ayant plus qu'à indiquer au programme la valeur de la déclinaison, en degrés-minutes-secondes ou en degrés décimaux, suivant le programme.

4.2.3 L'échelle

Le choix d'une échelle de réduction pour le dessin d'une topographie dépend essentiellement des dimensions de la cavité en question. Les échelles les plus utilisées sont :

1:100 1:200 1:500

Les longueurs mesurées seront converties en millimètres de la manière suivante:

$$L\,[m] \cdot \text{Echelle} \cdot 1000 = L[mm]$$

Fiche No: 1/1	Cavité: 1042	Coordonnées:	Echelle:	Instruments:	Levé par:	Date:
	Galerie: 1	Y	1/200	L: Chevillière AJ	Mesures: A. Jalon	10.6.91
	Commune:	X	Déclinaison:	D: Suunto 360 AJ	Notes/dessin: D. Lambert	
	Canton:	Z	-0,66	P: Suunto 360 AJ	Calculé par: D. Lambert	12.6.91

No	L [m]	D [°]	P [°]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	L [mm]	Lp [mm]	A [°]	Y [mm]	X [mm]	Z [mm]	← [mm]	→ [mm]	↑ [mm]	↓ [mm]	Remarques
1.0	–	–	–	1,10	0,9	0	1,5			–								Entrée
1.1	5,24	83	-35	1,30	0	0,5	0,8			82,3								
1.2	6,30	78	-32	0	0,8	0,3	1,2			77,3								Deuxième spit, sommet puits
1.3	9,54	–	-90	0	0,8	11,5	1,6			–								
1.4	4,46	121	+2	0	0,7	0,2	1,4			120,3								Départ en méandre
1.5	5,82	132	0	0,8	0	0,3	1,5			131,3								Présence de flaques d'eau

A = D + Déclinaison

Fig. 4.13 Report de la déclinaison

Fiche No:	Cavité: 1042	Coordonnées:	Echelle:	Instruments:	Levé par:	Date:
1/1	Galerie: 1	Y	1/ 200	L: Chevillière AT	Mesures: A. Talon	10.6.91
	Commune:	X	Déclinaison:	D: Suunto 360 AT	Notes/dessin: D. Lambert	
	Canton:	Z	-0,66	P: Suunto 360 AT	Calculé par: D. Lambert	12.6.91

No	L [m]	D [°]	P [°]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	L [mm]	Lp [mm]	A [°]	Y [mm]	X [mm]	Z [mm]	← [mm]	→ [mm]	↑ [mm]	↓ [mm]	Remarques
1.0	–	–	–	1,10	0,9	0	1,5	–		–				5,5	4,5	0	7,5	Entrée
1.1	5,24	83	-35	1,30	0	0,5	0,8	26,2		82,3				6,5	0	2,5	4,0	
1.2	6,30	78	-32	0	0,8	0,3	1,2	31,5		77,3				0	4,0	1,5	6,0	Deuxième spit, sommet puits
1.3	9,54	–	-90	0	0,8	11,5	1,6	47,7		–				0	4,0	57,5	8,0	
1.4	4,46	121	+2	0	0,7	0,2	1,4	22,3		120,3				0	3,5	1,0	7,0	Départ en méandre
1.5	5,82	132	0	0,8	0	0,3	1,5	29,1		131,3				4,0	0	1,5	7,5	Présence de flaques d'eau

L [mm] = L [m] · Echelle · 1000

L [mm] = L [m] · Echelle · 1000

Fig. 4.14 Conversion des longueurs en mm

Exemple: L =5,24 m

Echelle 1/200

----> L [mm] = 5.24 · (1/200) · 1000 = 26,2 mm

Cette valeur doit être reportée dans la colonne L[mm] de la feuille de mise au net. On procède de la même manière pour les largeurs et les hauteurs (fig.4.14).

4.2.4 Calculs en coordonnées polaires

La méthode de calcul en coordonnées polaires est la méthode la plus simple que l'on puisse utiliser. Par contre, la précision de cette méthode laisse à désirer et elle ne sera utilisée que pour de petites cavités. Le seul calcul qu'il soit nécessaire d'effectuer consiste à déterminer la projection, sur le plan horizontal, de la longueur de la visée (fig.4.15).

On calcule, pour chaque visée, la valeur de Lp [mm] en appliquant la formule:

Lp [mm] = L [mm] · COS P

où: Lp[mm] est la longueur projetée en mm

L[mm] est la longueur de la visée en mm

P est la pente mesurée au clisimètre en degrés ou en grades.

COS est l'abréviation de la fonction trigonométrique Cosinus

Exemple:

L = 26,2 mm

P = −35°

-----> Lp = 26,2 · COS (−35) = 21,5 mm

On reporte pour chaque visée la valeur ainsi calculée de Lp dans la colonne correspondante de la feuille de mise au net (fig 4.16).

Si l'on utilise un clisimètre gradué en grades, il faut prendre soin de placer – si cela est possible – la calculatrice utilisée en mode grades. Si cela n'est pas possible, il est nécessaire de convertir au préalable la pente P de grades en degrés:

P [°] = P [g] · 360 / 400

Exemple:

P [g] = 60 g

-----> P [°] = 60 · 360 / 400 = 54°

Dans certains cas, il arrive que le «0» pour la mesure des pentes ne corresponde pas à l'horizontale, mais à la verticale. C'est le cas avec la boîte Topo-Vulcain. On évite avec ce système d'avoir un signe + ou – pour

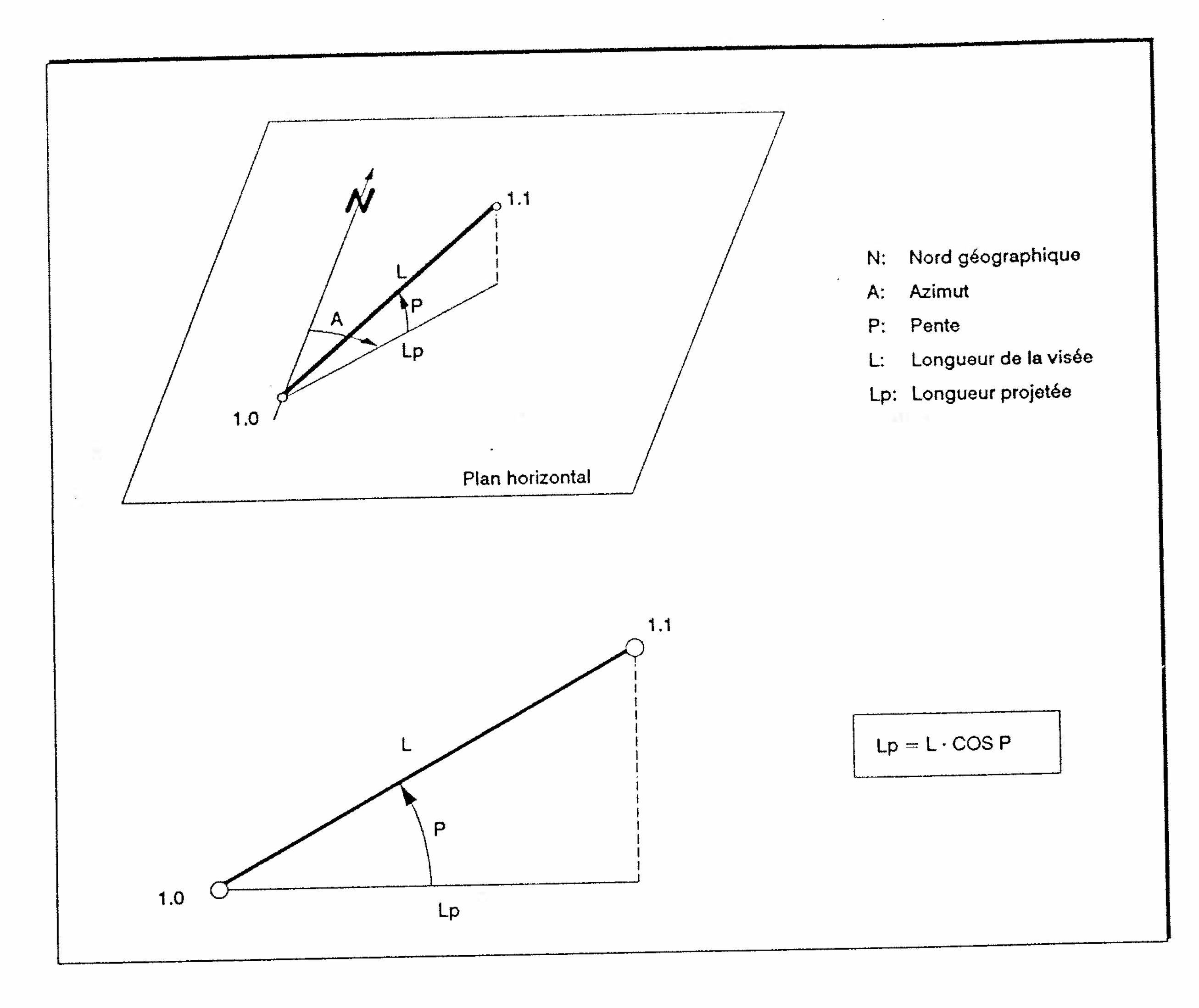


Fig. 4.15 Projection sur le plan horizontal

Fiche No:	Cavité: 10A2	Coordonnées:	Echelle:	Instruments:	Levé par:	Date:
	Galerie: 1	Y	1/ 200	L: Chevillière AT	Mesures: A. Talon	10.6.91
1/1	Commune:	X	Déclinaison:	D: Suunto 360 AT	Notes/dessin: D. Lambert	
	Canton:	Z	-0,66	P: Suunto 360 AT	Calculé par: D. Lambert	12.6.91

No	L [m]	D [°]	P [°]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	L [mm]	Lp [mm]	A [°]	Y [mm]	X [mm]	Z [mm]	← [mm]	→ [mm]	↑ [mm]	↓ [mm]	Remarques
1.0	–	–	–	1,10	0,9	0	1,5	–	–	–				5,5	4,5	0	7,5	Entrée
1.1	5,24	85	-35	1,30	0	0,5	0,8	26,2	21,5	82,5				6,5	0	2,5	4,0	
1.2	6,30	78	-32	0	0,8	0,3	1,2	31,5	26,7	77,5				0	4,0	1,5	6.0	Deuxième spit, sommet puits
1.3	9,54	–	-90	0	0,8	11,5	1,6	47,7	0	–				0	4,0	57,5	8.0	
1.4	4,46	121	+2	0	0,7	0,2	1,4	22,3	22,5	120,3				0	3,5	1,0	7.0	Départ en méandre
1.5	5,82	132	0	0,8	0	0,3	1,5	29,1	29,1	131,3				4,0	0	1,5	7,5	Présence de flaques d'eau

Lp = L · COS P

Fig. 4.16 Report de Lp

la pente. En effet, la pente est alors toujours comprise entre 0 et 180 degrés. Pour le calcul de la longueur projetée, il faut alors corriger l'angle de 90°.

4.2.5 Calculs en coordonnées rectangulaires

Le calcul en coordonnées rectangulaires est un peu

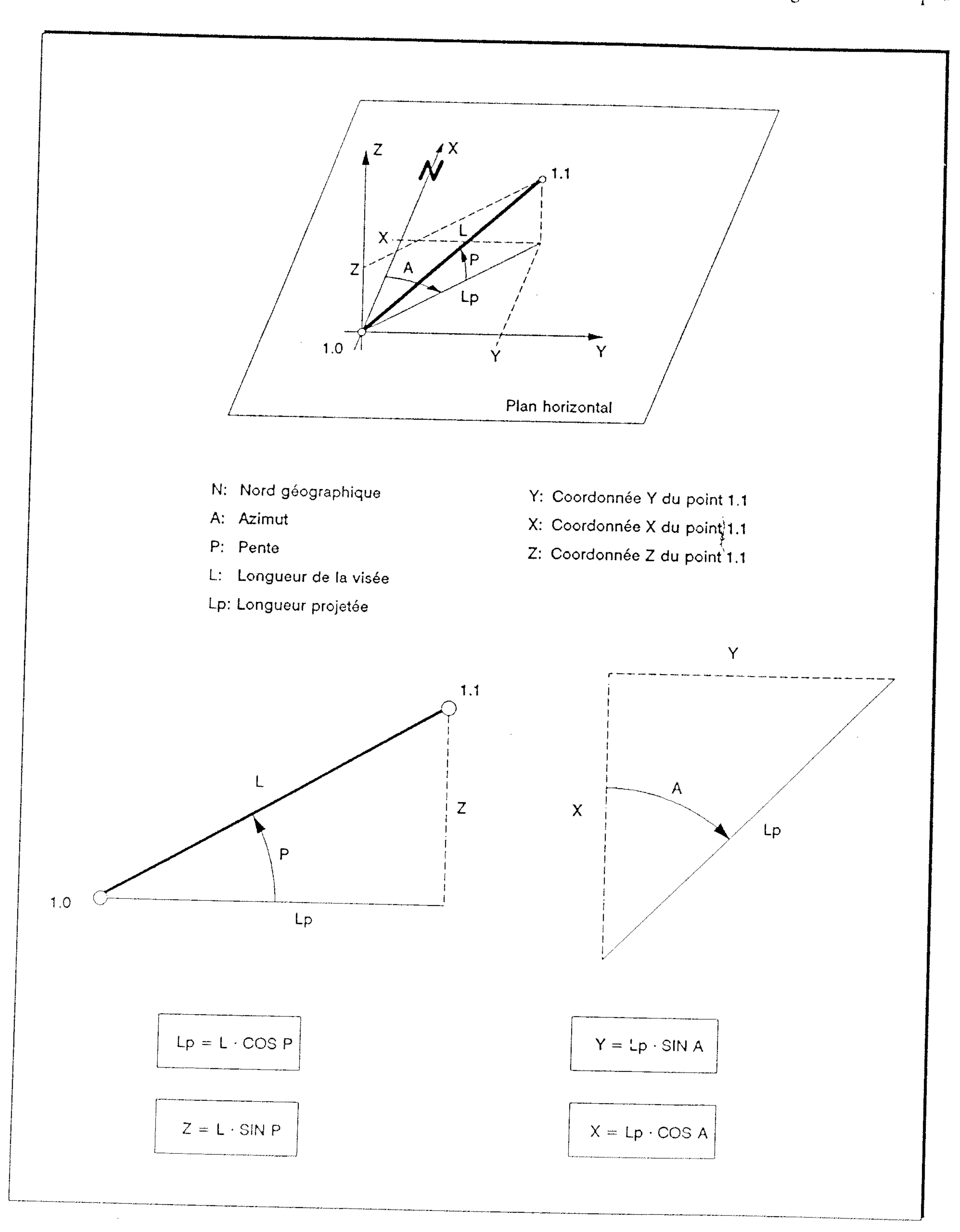


Fig 4.17 Projection sur trois axes Y, X et Z

plus complexe que le calcul en coordonnées polaires, mais la précision de cette méthode est bien meilleure et le report graphique sur papier millimétré sera simplifié et plus sûr (les erreurs ne se cumulent pas).

Le calcul de la longueur projetée doit être effectué comme décrit dans le paragraphe 4.2.4.
Il convient ensuite de calculer la projection, sur trois axes Y, X et Z de chaque visée (fig 4.17).

A l'aide de la longueur projetée et de l'azimut, on peut calculer les coordonnées Y et X de chaque visée:

$$Y_{[visée]} = Y_{[visée\ précédente]} + Lp_{[visée]} \cdot SIN\ A$$

$$X_{[visée]} = X_{[visée\ précédente]} + Lp_{[visée]} \cdot COS\ A$$

A l'aide de la longueur et de la pente, on peut calculer la coordonnée Z de chaque visée:

$$Z_{[visée]} = Z_{[visée\ précédente]} + L_{[visée]} \cdot SIN\ P$$

Les remarques faites au paragraphe précédent au sujet des instruments gradués en grades restent valables lorsqu'on calcule en coordonnées rectangulaires.

Les coordonnées de chaque point topo sont calculées en partant des coordonnées du point précédent. Le premier point d'une topographie, par exemple l'entrée d'une cavité, a comme coordonnées 0, 0, 0 (ou les coordonnées nationales du point).

On calcule alors les coordonnées de tous les points de la galerie principale en partant du point 0, 0, 0. Dans notre exemple, il s'agit de la galerie 1.

Exemple:

$$Y_{[1.0]} = 0$$

$$X_{[1.0]} = 0$$

$$Z_{[1.0]} = 0$$

-----> $Y_{[1.1]} = Y_{[1.0]} + Lp_{[1.1]} \cdot SIN\ A_{[1.1]}$

$= 0 + 21{,}5 \cdot SIN\ (82{,}3) = 21{,}3$ mm

$X_{[1.1]} = X_{[1.0]} + Lp_{[1.1]} \cdot COS\ A_{[1.1]}$

$= 0 + 21{,}5 \cdot COS\ (82{,}3) = 2{,}9$ mm

$Z_{[1.1]} = Z_{[1.0]} + L_{[1.1]} \cdot SIN\ P_{[1.1]}$

$= 0 + 26{,}2 \cdot SIN\ (-35) = -15{,}0$ mm

Fiche No:	Cavité: 10A2	Coordonnées:	Echelle:	Instruments:	Levé par:	Date:
1/1	Galerie: 1	Y	1/ 200	L: Chevillière AT	Mesures: A. Talon	10.6.91
	Commune:	X	Déclinaison:	D: Suunto 360 AT	Notes/dessin: D. Lambert	
	Canton:	Z	−0,66	P: Suunto 360 AT	Calculé par: D. Lambert	12.6.91

No	L [m]	D [°]	P [°]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	L [mm]	Lp [mm]	A [°]	Y [mm]	X [mm]	Z [mm]	← [mm]	→ [mm]	↑ [mm]	↓ [mm]	Remarques
1.0	–	–	–	1,10	0,9	0	1,5	–	–	–	0	0	0	5,5	4,5	0	7,5	Entrée
1.1	5,24	83	−35	1,30	0	0,5	0,8	26,2	21,5	82,3	21,3	2,9	−15,0	6,5	0	2,5	4,0	
1.2	6,30	78	−32	0	0,8	0,3	1,2	31,5	26,7	77,3	47,3	8,8	−31,7	0	4,0	1,5	6,0	Deuxième spit, sommet puits
1.3	9,54	–	−90	0	0,8	11,5	1,6	47,7	0	–	47,3	8,8	−79,4	0	4,0	57,5	8,0	
1.4	4,46	121	+2	0	0,7	0,2	1,4	22,3	22,5	120,3	66,7	−2,6	−78,6	0	3,5	1,0	8,0	Départ en méandre
1.5	5,82	132	0	0,8	0	0,3	1,5	29,1	29,1	131,3	88,6	−21,8	−78,6	4,0	0	2,4	7,5	Présence de flaques d'eau

Fig. 4.18 Report des coordonnées Y, X, Z

Pour le point suivant:

$$Y_{[1.2]} = Y_{[1.1]} + Lp_{[1.2]} \cdot SIN\ A_{[1.2]}$$
$$= 21{,}5 + 26{,}7 \cdot SIN\ (77{,}3) = 47{,}3\ mm$$

$$X_{[1.2]} = X_{[1.1]} + Lp_{[1.2]} \cdot COS\ A_{[1.2]}$$
$$= 2{,}9 + 26{,}7 \cdot COS\ (77{,}3) = 8{,}8\ mm$$

$$Z_{[1.2]} = Z_{[1.1]} + L_{[1.2]} \cdot SIN\ P_{[1.2]}$$
$$= -15{,}0 + 31{,}5 \cdot SIN(-32) = -31{,}7\ mm$$

On reporte pour chaque point les résultats des calculs sur la feuille de mise au net (fig 4.18).

Lorsque tous les points de la galerie principale sont calculés, on peut calculer les points de galeries «secondaires» dont le point de départ est un des points de la galerie principale.

Exemple:

$$Y_{[1.8]} = 218{,}2$$
$$X_{[1.8]} = 108{,}4$$
$$Z_{[1.8]} = -72{,}1$$

-----> $Y_{[2.1]} = Y_{[1.8]} + Lp_{[2.1]} \cdot SIN\ A_{[2.1]}$
$$= 218{,}2 + 17{,}1 \cdot SIN\ (56) = 232{,}4\ mm$$

$$X_{[2.1]} = X_{[1.8]} + Lp_{[2.1]} \cdot COS\ A_{[2.1]}$$
$$= 108{,}4 + 17{,}1 \cdot COS\ (56) = 118{,}0\ mm$$

$$Z_{[2.1]} = Z_{[1.8]} + L_{[2.1]} \cdot SIN\ P_{[2.1]}$$
$$= -72{,}1 + 17{,}5 \cdot SIN\ (12) = -68{,}5\ mm$$

4.2.6 Erreurs, corrections

Les calculs précédant la mise au net d'une topographie ne doivent pas introduire d'erreurs! Il est facile de vérifier les calculs, et les heures passées sous terre lors du levé ne doivent pas être suivies de calculs bâclés. Si la topographie comporte des boucles, une erreur de bouclage apparaîtra lors des calculs.

Cette erreur provient de l'imprécision des mesures effectuées sous terre et elle permet de vérifier que de grossières fautes de visées n'ont pas été commises.

Pour la mise au net, il faudra «tricher» un peu afin de fermer les boucles. Pour cela, il faut répartir sur toutes les visées de la boucle une correction permettant la fermeture. Dans le cas d'une petite topo, on peut fermer une boucle en répartissant l'erreur à l'oeil, mais dès qu'un réseau prend une certaine importance, l'utilisation d'un programme s'impose pour le calcul des boucles. L'annexe C du présent cours décrit le calcul des boucles en topographie par la méthode des moindres carrés.

Le calcul d'une boucle doit être l'occasion d'évaluer la précision des levés effectués sous terre. Pour cela, on calcule, en %, le rapport entre l'écart à la fermeture d'une boucle et la longueur totale du cheminement. Sur une grande boucle, les erreurs ayant tendance à se compenser, l'erreur ne devrait pas dépasser 2%. Bien qu'il soit difficile de donner des règles absolues, on peut dire que si l'erreur dépasse 5%, il faut rechercher une faute de levé (visée retournée...) et si possible refaire cette partie du levé.

4.2.7 Développement, dénivellation

Le développement et la dénivellation d'une cavité sont deux valeurs que les spéléos connaissent bien. C'est souvent à l'aide de ces deux valeurs que l'on apprécie l'importance d'une cavité. Elles sont en outre utilisées pour classer les cavités par ordre d'importance, au niveau d'un massif, d'un pays...

Le développement est la somme des longueurs de toutes le galeries d'une cavité. On l'obtient en additionnant les longueurs de toutes les visées faites sous terre. Il est clair que le résultat dépend de la manière dont le cheminement topo a été réalisé sous terre et que la mesure de nombreuses salles augmentera artificiellement le développement.

La dénivellation est la différence d'altitude entre l'entrée et les points les plus hauts et les plus bas de la cavité. On indique une dénivellation positive lorsque le point le plus élevé se trouve en-dessus de l'entrée et une dénivellation négative lorsque le point le plus bas se trouve en dessous de l'entrée. Par exemple:

Dénivellation: 880 m (+120 / −760 m)

Dans cet exemple, la cavité possède une partie remontante qui culmine 120 m au dessus de l'entrée et une partie descendante atteignant la profondeur de 760 m au-dessous de l'entrée.
Le dénivellation s'obtient à l'aide des valeurs minimum et maximum de «Z» lors du calcul en coordonnées

rectangulaires. Si l'on effectue le calcul en coordonnées polaires, il faudra mesurer la dénivellation sur la coupe développée.

4.2.8 Coordonnées de l'entrée

Si l'entrée de la cavité a été située, lors du levé, par un cheminement en surface, les calculs à effectuer seront les mêmes que pour le report d'une galerie. On utilise de préférence le calcul en coordonnées rectangulaires avec comme valeurs initiales (Yo, Xo, Zo) les coordonnées du point connu à partir duquel le levé a été effectué. On prendra garde d'introduire ces trois valeurs en mètres!

Par exemple:

564.200	mesuré sur la carte
148.125	mesuré sur la carte
1220 m	mesuré à l'altimètre

donnent: Y = 564200 m

X = 148125 m

Z = 1220 m

Une fois les résultats connus, on retransformera les valeurs pour avoir, comme habituellement, les coordonnées Y et X en km et l'altitude (Z) en m:

coordonnées:

654.200

148.125

1220 m

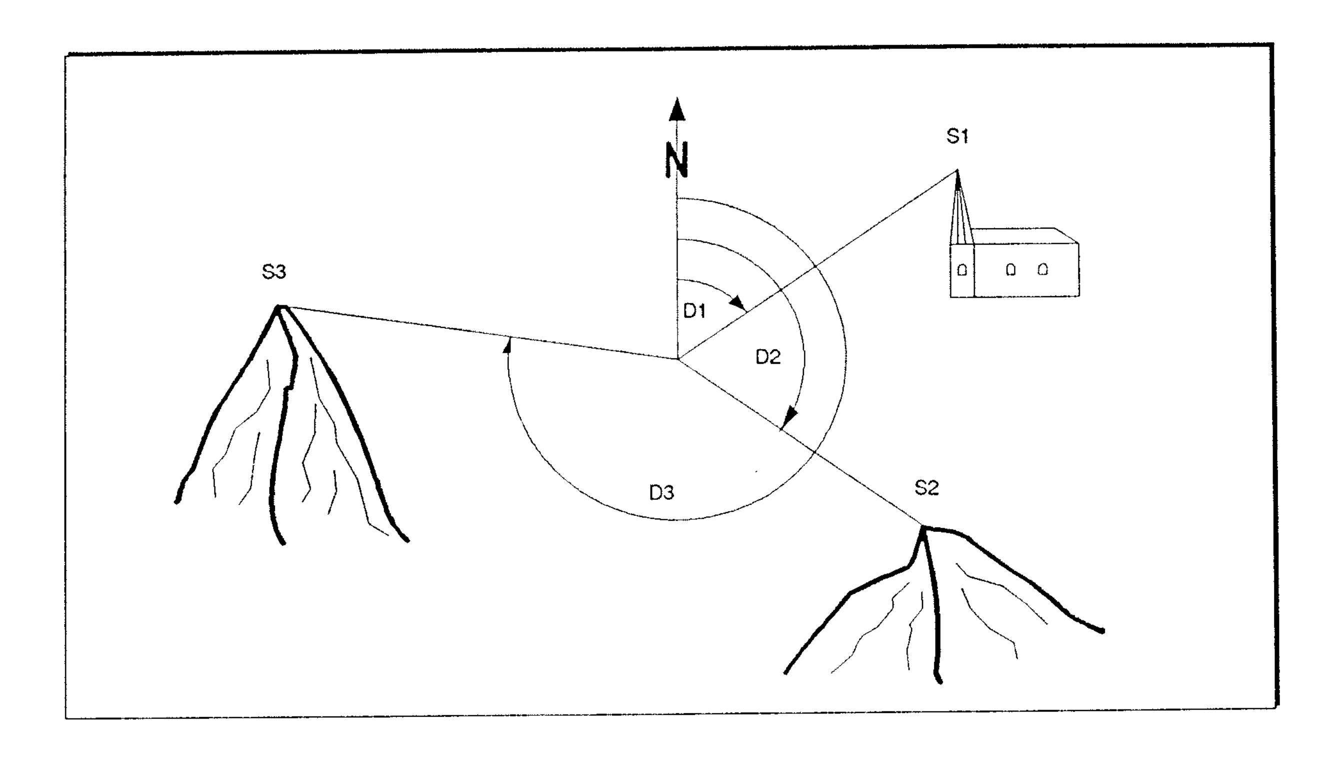


Fig. 4.19 Mesure des coordonnées par triangulation

Si l'entrée de la cavité a été repérée par triangulation (fig. 4.19), on déterminera graphiquement le triangle dans lequel elle se trouve.

Pour cela on calcule l'azimut de chaque visée que l'on reporte sur la carte en ajoutant +/− 180°:

A1 = D1 + Déclinaison

A2 = D2 + Déclinaison

A3 = D3 + Déclinaison

On lira alors les coordonnées correspondantes sur la carte (fig. 4.20). L'altitude mesurée à l'altimètre permettra de vérifier l'exactitude du relevé fait sur la carte.

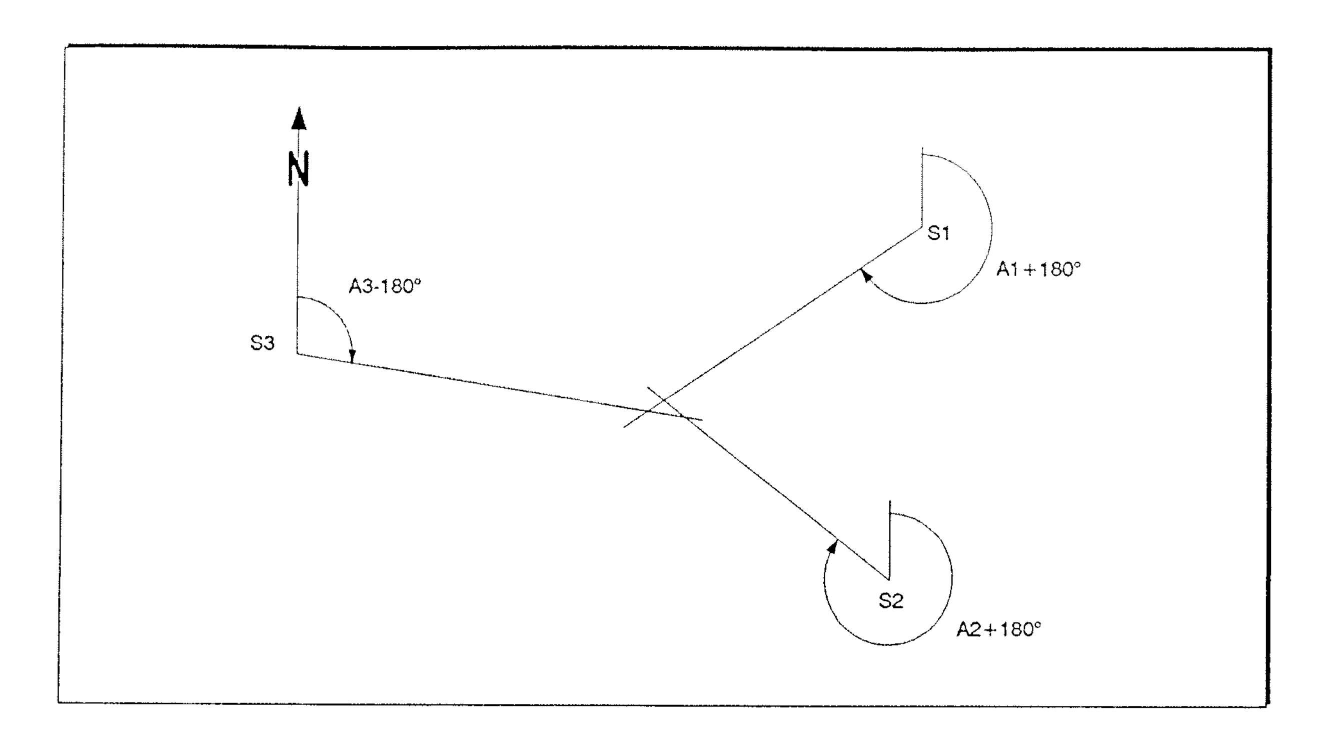
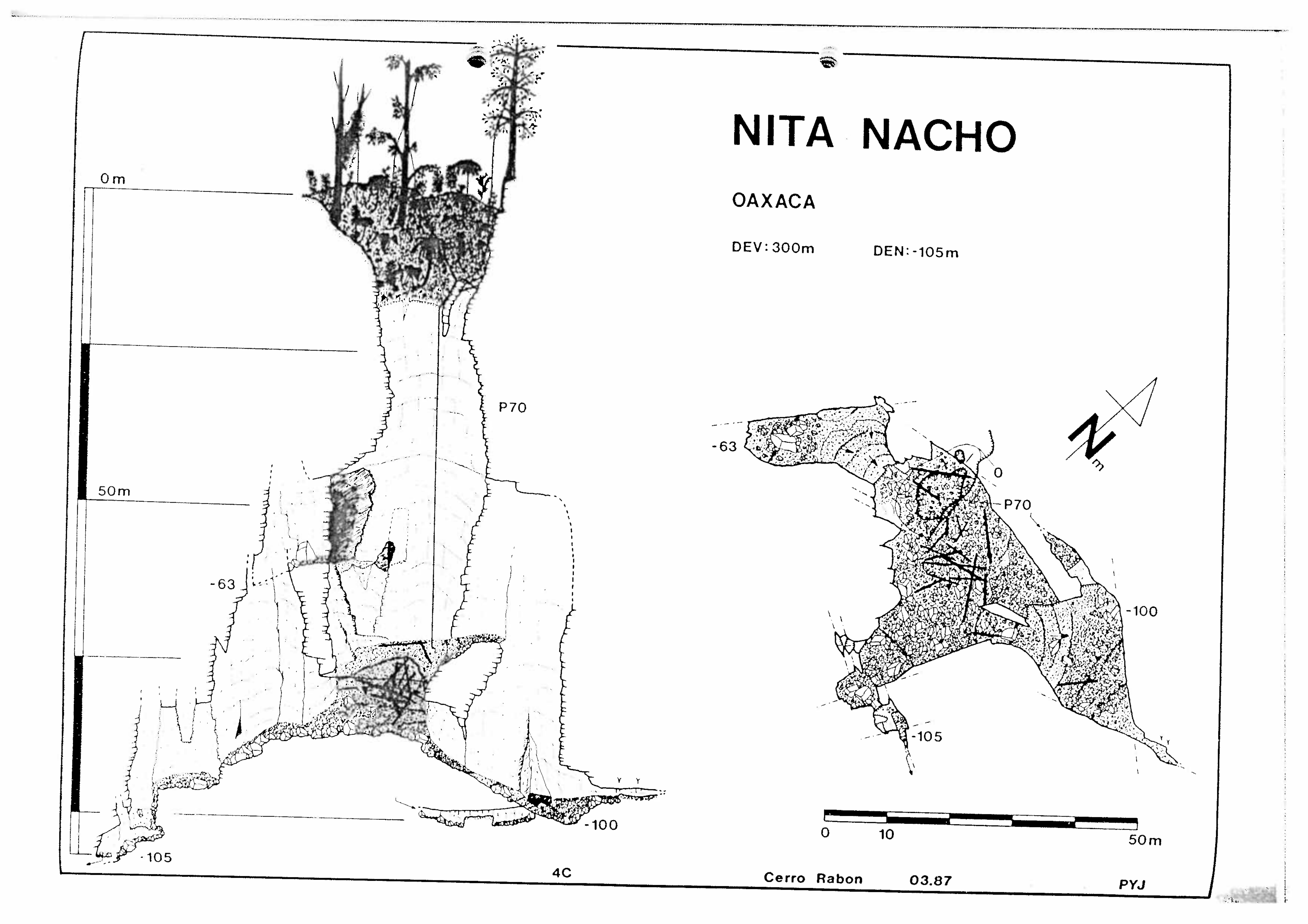


Fig. 4.20 Détermination graphique des coordonnées de l'entrée


NITA NACHO
OAXACA
DEV:300m
DEN:-105m
0m
50m
P70
-63
-100
-105
0
P70
-63
-100
-105
N
m
0
10
50m
4C
Cerro Rabon
03.87
PYJ

5. Le report

5.1 Matériel de report

Bien que ne faisant pas directement partie de l'équipement du spéléologue, le matériel de mise au net ne doit pas être négligé et seul un bon support et des plumes en bon état permettent de dessiner proprement!

5.1.1 Support

Pour le report du canevas, on utilise du papier millimétré, bleu ou brun sur fond blanc, avec un grammage de 80 g/m^2 ou 120 g/m^2. Suivant la dimension du dessin, on peut utiliser un format A4 ou A3 que l'on peut assembler si nécessaire.

Pour le dessin définitif, à l'encre, on utilise du papier calque transparent (80 g/m^2 ou plus) ou du film à dessin synthétique qui est plus cher mais offre une stabilité et une durabilité nettement supérieures. Le format est choisi en fonction de la dimension du dessin. Pour les grandes topos, on trouve du papier en rouleau ce qui évite de devoir faire des collages.

5.1.2 Crayons et plumes

Pour le dessin du canevas, il faut utiliser un porte-mine genre «Fix-pencil» et une mine de dureté moyenne, par exemple 2H ou HB. Les portes-mines automatiques munis de mines de petits diamètres (0,2...0,5 mm) sont pratiques mais moins précis qu'un bon Fix-pencil bien affûté!

Le dessin à l'encre sur papier calque nécessite l'emploi de plumes à encre de Chine. Ces plumes dont le prix est relativement élevé existent dans différentes tailles permettant ainsi de choisir une épaisseur de trait entre 0,13 mm et 2 mm (fig. 5.1). Pour le dessin sur film à dessin, il faut choisir des plumes adaptées à cet usage.

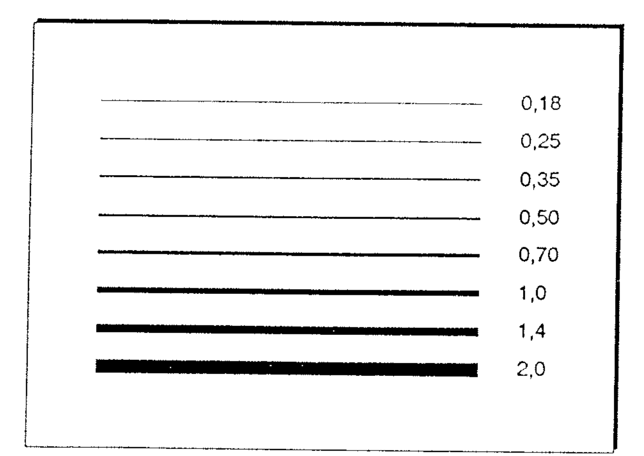


Fig. 5.1 Epaisseur de traits

Pour le dessin d'une topographie, il est agréable de disposer de quatre épaisseurs de traits:

0,18 mm	pour les petits détails d'habillage
0,25 mm	pour l'habillage
0,35 mm	pour l'habillage
0,50 mm	pour le contour principal de la galerie

Pour obtenir une épaisseur de trait régulière, il faut tenir les plumes bien verticalement. Les plumes à encre de Chine sont des instruments fragiles et sèchent facilement si elles ne sont pas utilisées régulièrement. Lorsque cela arrive, on peut les nettoyer à l'eau ou avec un dissolvant spécial.

5.1.3 Gommes et grattoirs

Pour effacer le crayon à papier, il existe de nombreux types de gommes. Il faut en choisir une sans abrasif et la conserver parfaitement propre. Lorsque la gomme durcit ou change de couleur, il faut la remplacer.

Pour l'encre de Chine, il existe des gommes spéciales, mais en général on préfère gratter l'encre à l'aide d'un grattoir ou d'une lame de rasoir. Pour des surfaces plus importantes, on peut aussi utiliser un «balai en fibre de verre» qui permet de ménager la surface du papier. Après avoir gratté une surface, il faut gommer soigneusement l'endroit avant d'écrire à nouveau à l'encre, sinon l'encre est pompée par le papier.

Si l'on utilise du film à dessin, l'encre s'efface à l'aide d'une gomme plastique légèrement humide.

5.1.4 Règles

Si pour des dessins au crayon la forme de la règle n'a pas d'importance, il n'en va pas de même lorsque l'on dessine à l'encre. Il faut alors disposer d'une règle dont un côté est rainuré pour éviter que l'encre ne s'étende sous la règle par capillarité (fig. 5.2).

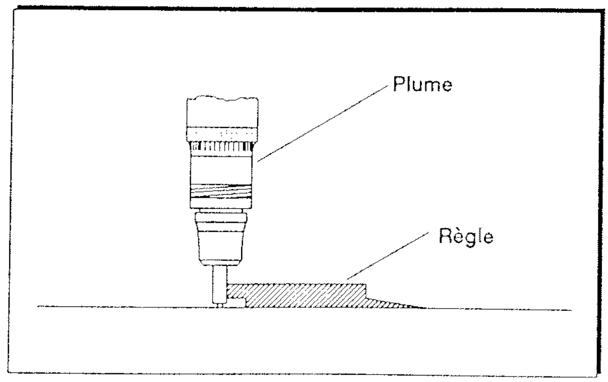


Fig. 5.2 Règle pour le dessin à l'encre

5.1.5 Chablons, lettres à transférer

Sur chaque topographie, on trouve une série d'inscriptions et de symboles qui sont destinés à compléter l'information portée par le dessin. Pour écrire ces textes (titre, profondeur...) et ces symboles (nord, échelle...) on peut utiliser différentes méthodes. Parmi celles-ci, les plus utilisées par les spéléos sont les chablons et les lettres à transférer. Les chablons sont relativement délicats à utiliser et les résultats sont souvent décevants. Pour cela, nous préférons utiliser des lettres à transférer (Letraset par exemple) qui permettent d'obtenir de bons résultats (fig. 5.3).

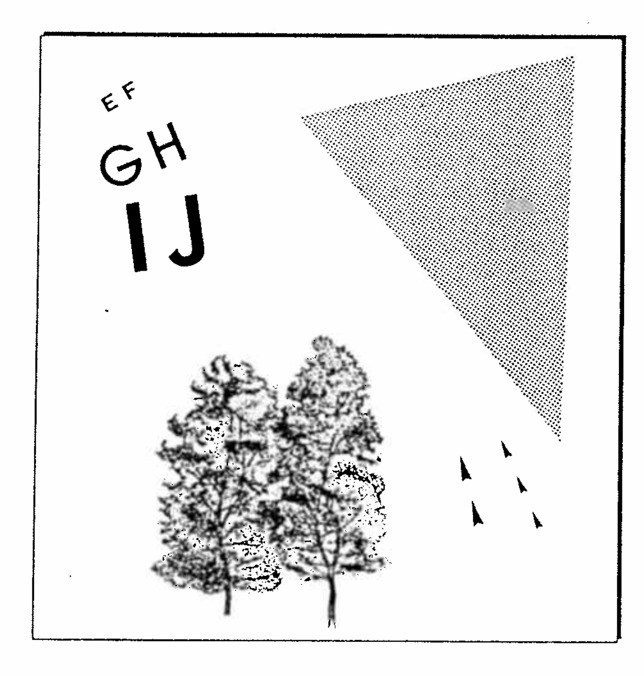


Fig. 5.3 Exemple de lettres et de symboles à transférer

Bien qu'il existe un très grand assortiment de lettres à transférer, il est conseillé de rester sobre et de choisir un type de caractères classiques. D'autre part, il faut éviter de mélanger plus de deux types de caractères sur le même dessin. Signalons encore qu'il existe des symboles à transférer, tels que flèches, «nord», arbres.

Si l'on dispose d'un ordinateur et d'une bonne imprimante, il est possible de préparer des textes que l'on colle ensuite (droit!) sur la topo.

5.1.6 Planche à dessin

Pour la mise au net d'une topo, il est nécessaire de pouvoir fixer, à l'aide de scotch, les deux "couches" que nous utilisons, c'est-à-dire le canevas sur papier millimétré et le dessin définitif sur papier calque. Ces dessins peuvent être fixés sur une table bien lisse ou sur une planche à dessin, pour autant que l'on en possède une.

Signalons qu'il est facile de réaliser une planche à dessin, format A3, à l'aide d'une planche en bois dur recouverte de papier plastifié.

5.2 Méthode de report

Une fois les calculs terminés, on dispose des informations nécessaires pour reporter la topo sur le papier. Pour cela, on commence par dessiner le canevas – squelette des galeries – que l'on habille ensuite grâce aux mesures prises et aux croquis faits sous terre.

5.2.1 Dessin du canevas

Le dessin du canevas s'effectue au crayon à papier (Fix-pencil) sur du papier millimétré. Il s'agit de reporter les visées effectuées sous terre, en plan et en coupe, en utilisant les résultats des calculs effectués au chapitre 4.1.

On commence par le plan. Il faut essayer de s'imaginer dans quel axe se développe la cavité afin de choisir la position de l'entrée (ou du point où l'on a commencé les visées) sur la feuille millimétrée de manière à éviter que le dessin ne sorte de la feuille après trois visées! Une fois ce point choisi, on commence à reporter les projections des visées effectuées sous terre sur le plan horizontal. Deux méthodes sont alors utilisées, selon que l'on a effectué les calculs en coordonnées polaires ou en coordonnées rectangulaires.

Si les calculs ont été effectués en coordonnées polaires, on utilise un rapporteur d'angle (en degrés ou en grades) pour reporter la direction de la visée et une règle graduée pour fixer la longueur projetée de la visée (fig. 5.4). On répète ensuite la même opération pour les visées suivantes en repartant de l'extrémité de la visée précédente.

Si les calculs ont été effectués en coordonnées rectangulaires, le premier point (1.0) est l'origine des coordonnées (0,0) et tous les points sont reportés par rapport à cette origine (fig. 5.5).

Quelle que soit la méthode choisie, on reporte toutes les visées, en collant plusieurs feuilles ensemble si nécessaire, et on dessine ensuite les largeurs mesurées au niveau des points topo selon la bissectrice de l'angle formé par les deux visées qui entourent le point (fig. 5.6); ceci pour autant que les largeurs aient été mesurées de cette manière sous terre!

Il faut ensuite passer au dessin du canevas de la coupe. On utilise en général la coupe développée, dont le plan de coupe suit l'axe de chaque visée, car c'est ce mode de représentation qui donne la meilleure idée du profil de la cavité tel qu'il apparaît aux explorateurs. Pour cela, il faut à nouveau choisir un point de départ, bien placé sur la feuille et reporter les visées effectuées sous terre.

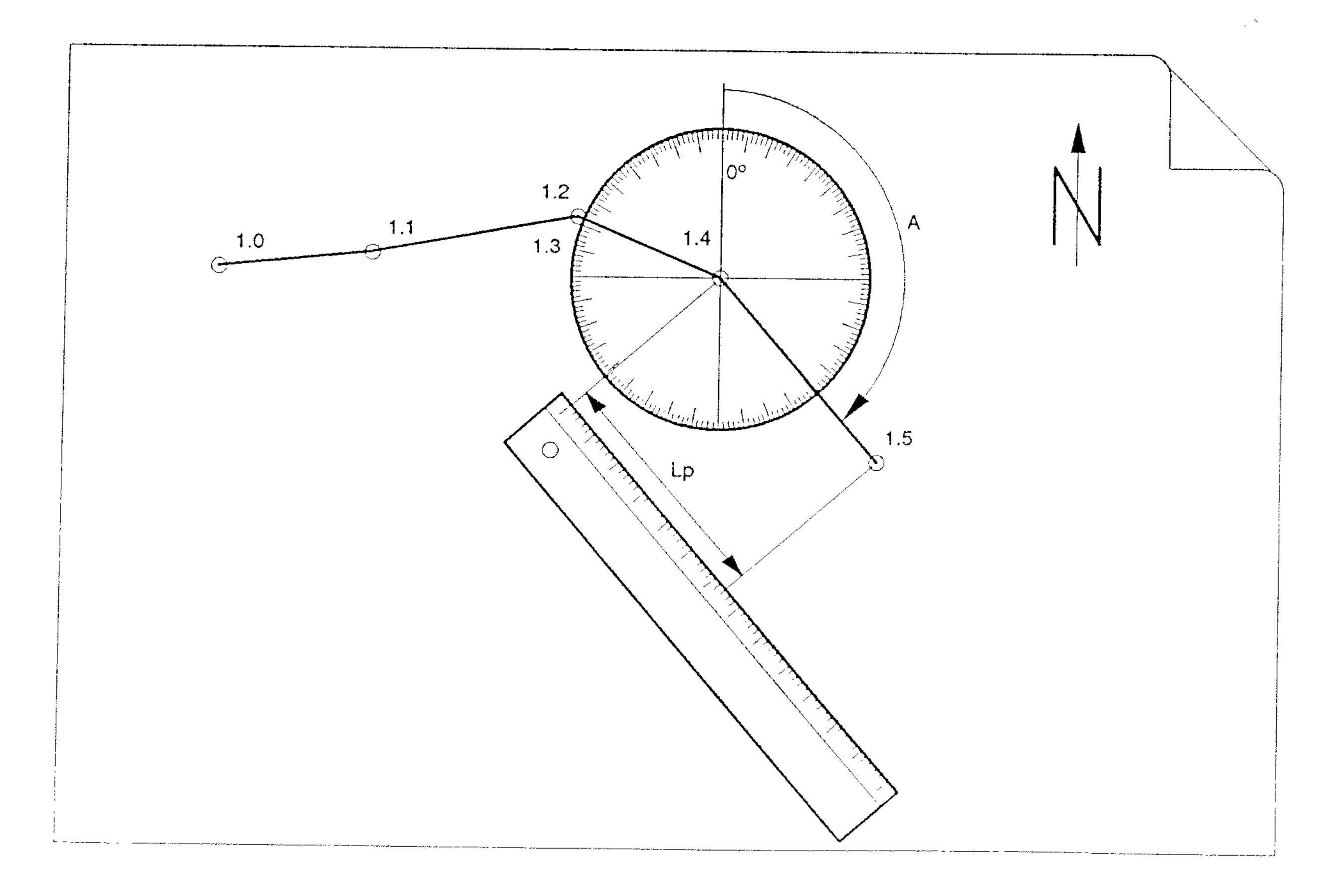


Fig. 5.4 Report en coordonnées polaires (plan)

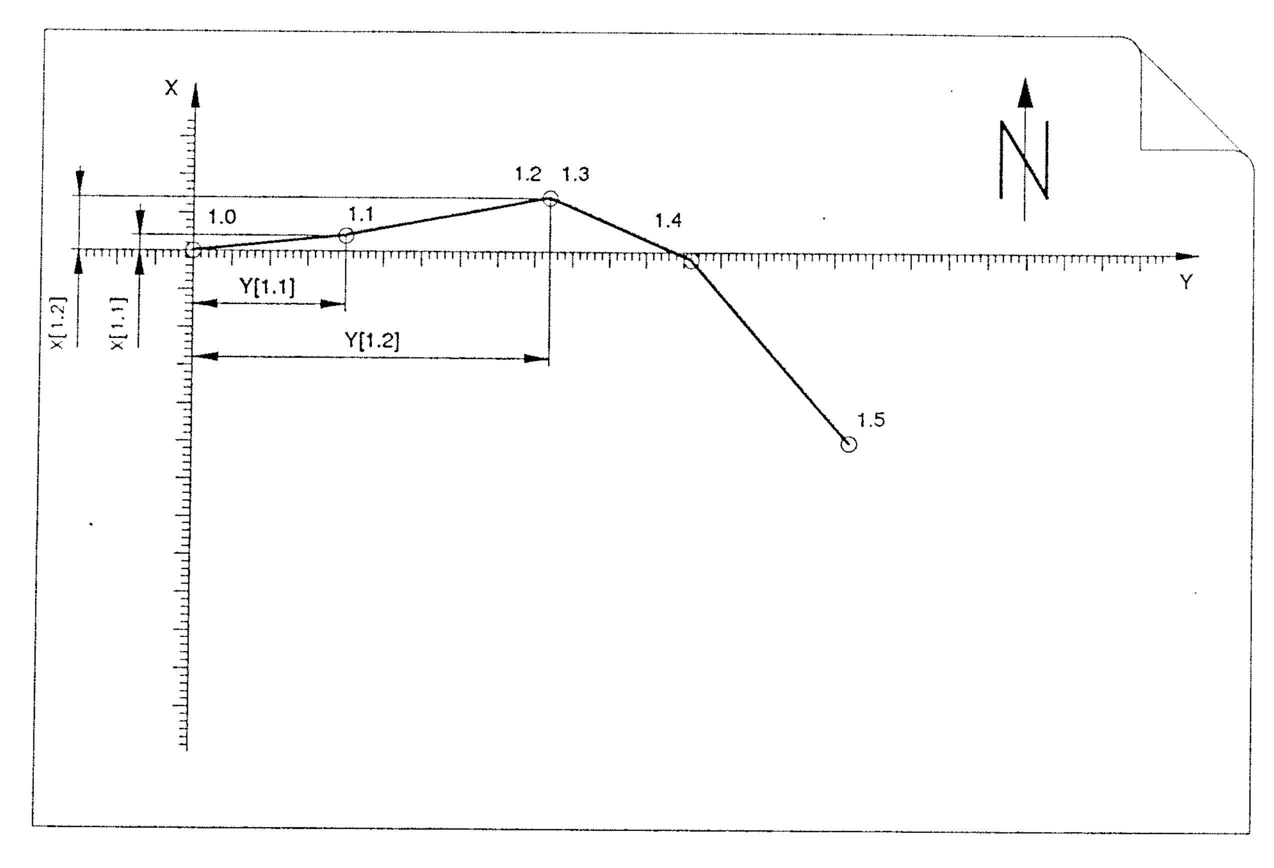


Fig. 5.5 Report en coordonnées rectangulaires (plan)

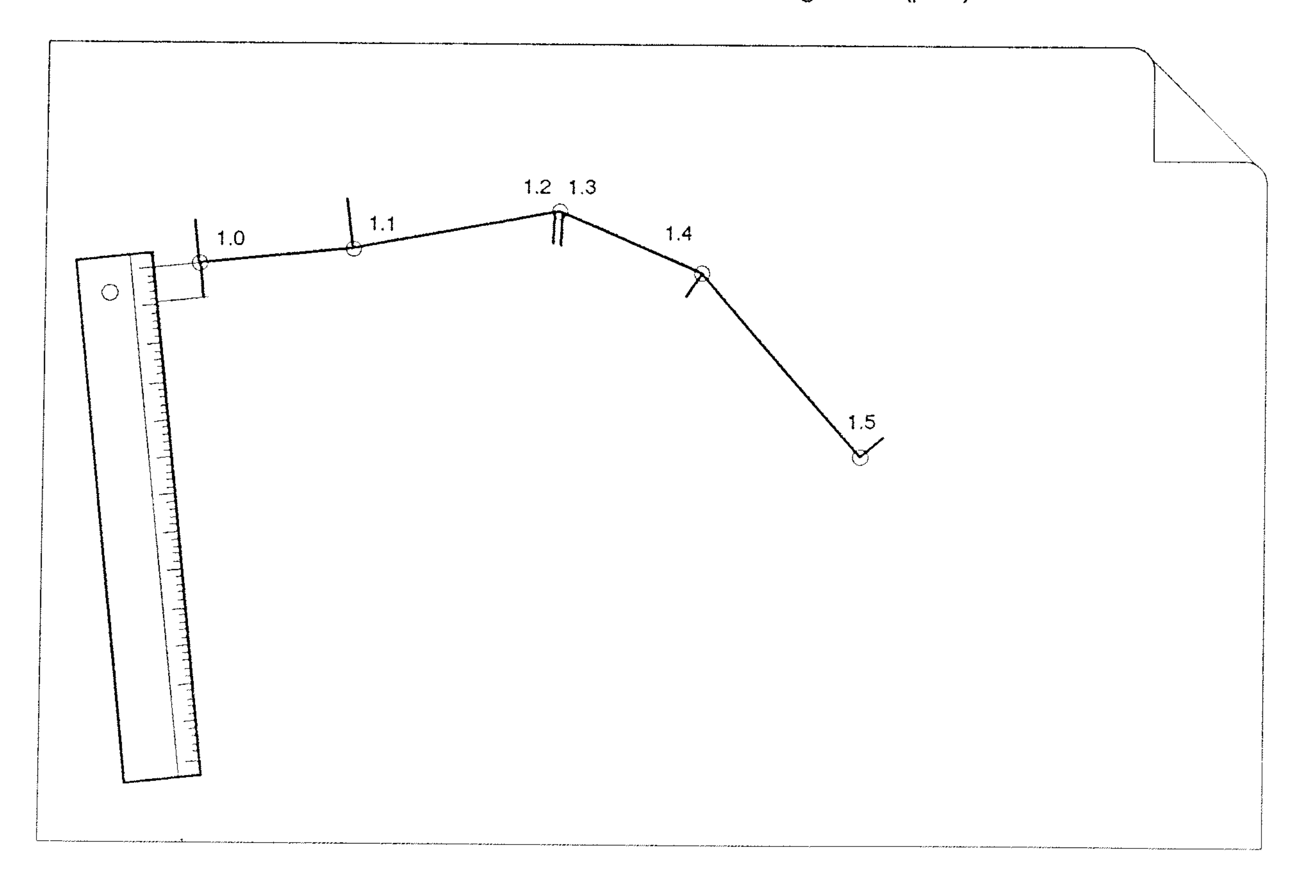


Fig. 5.6 Largeur des galeries (plan)

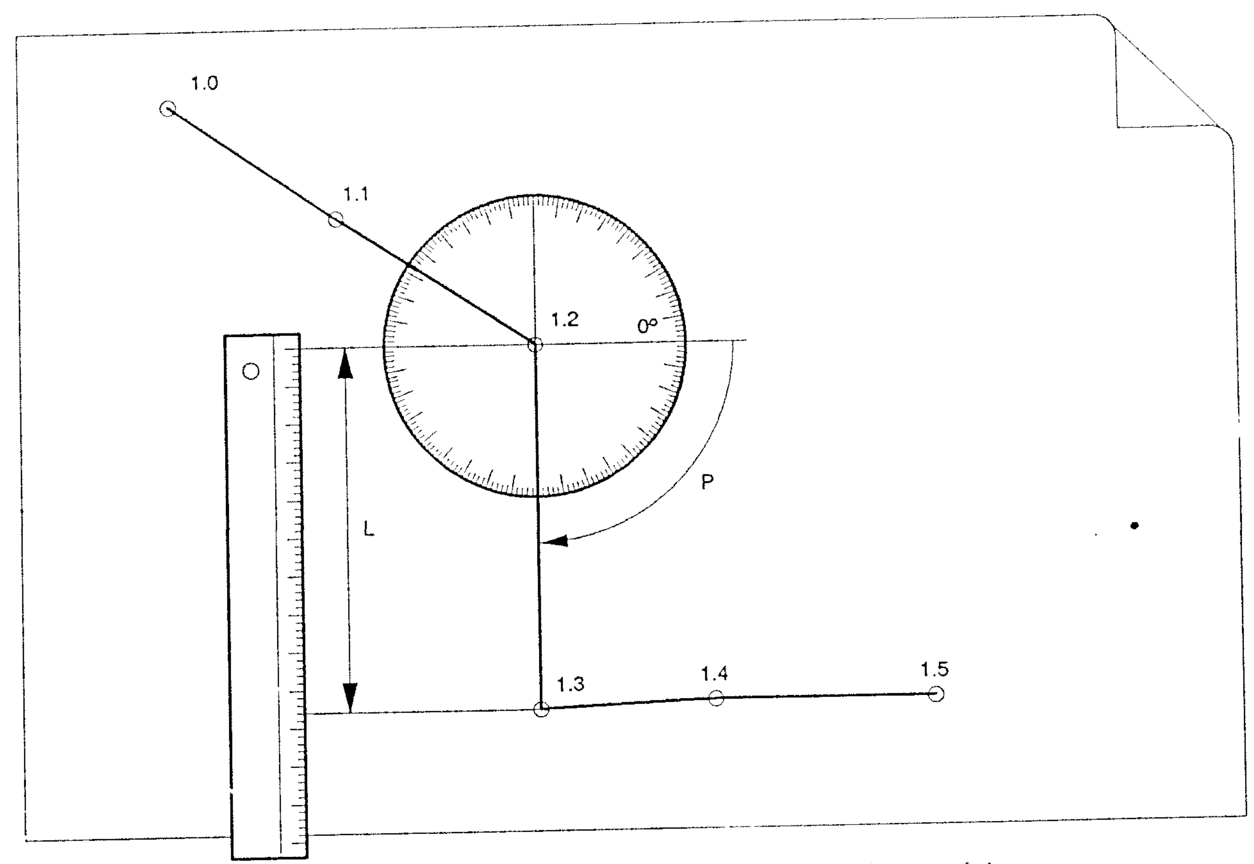


Fig. 5.7 Report en coordonnées polaires (coupe développée)

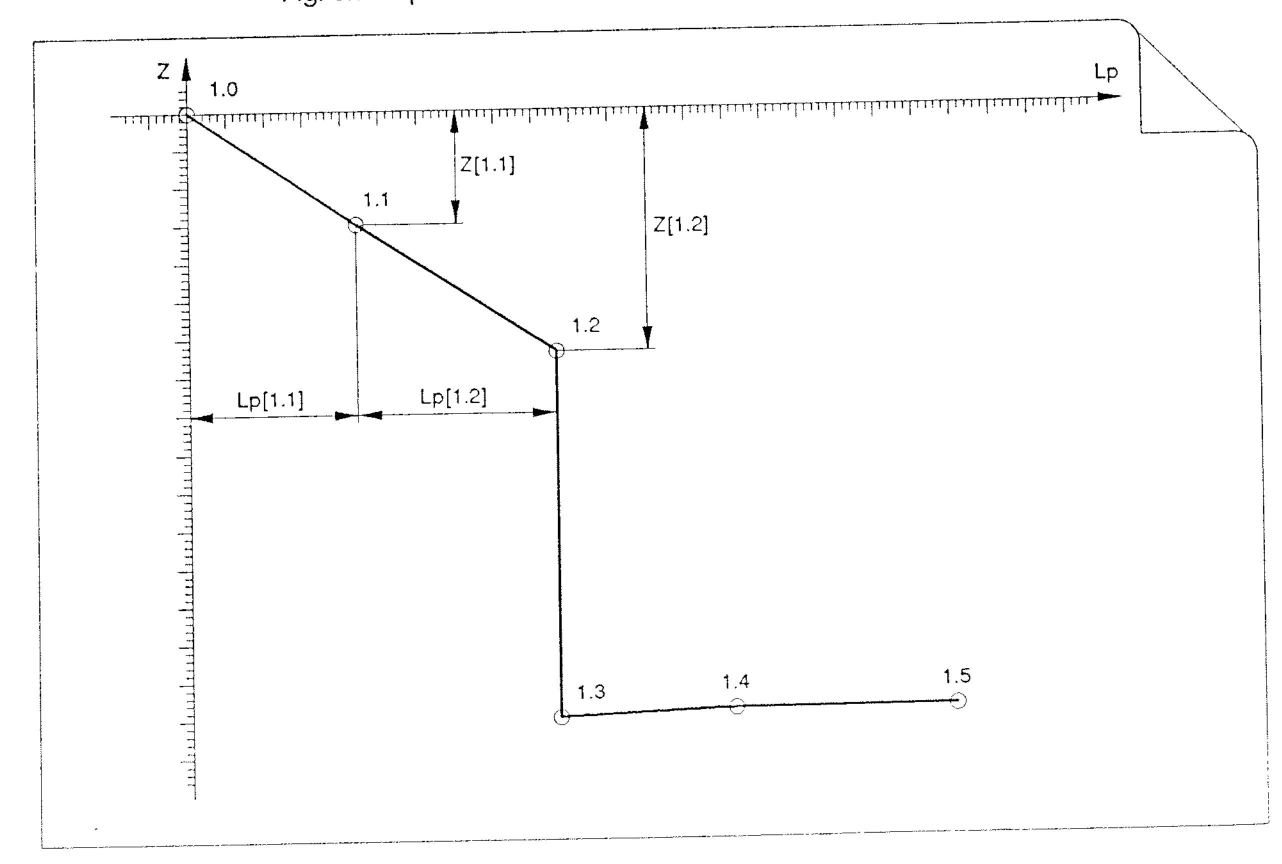


Fig. 5.8 Report en coordonnées rectangulaires (coupe développée)

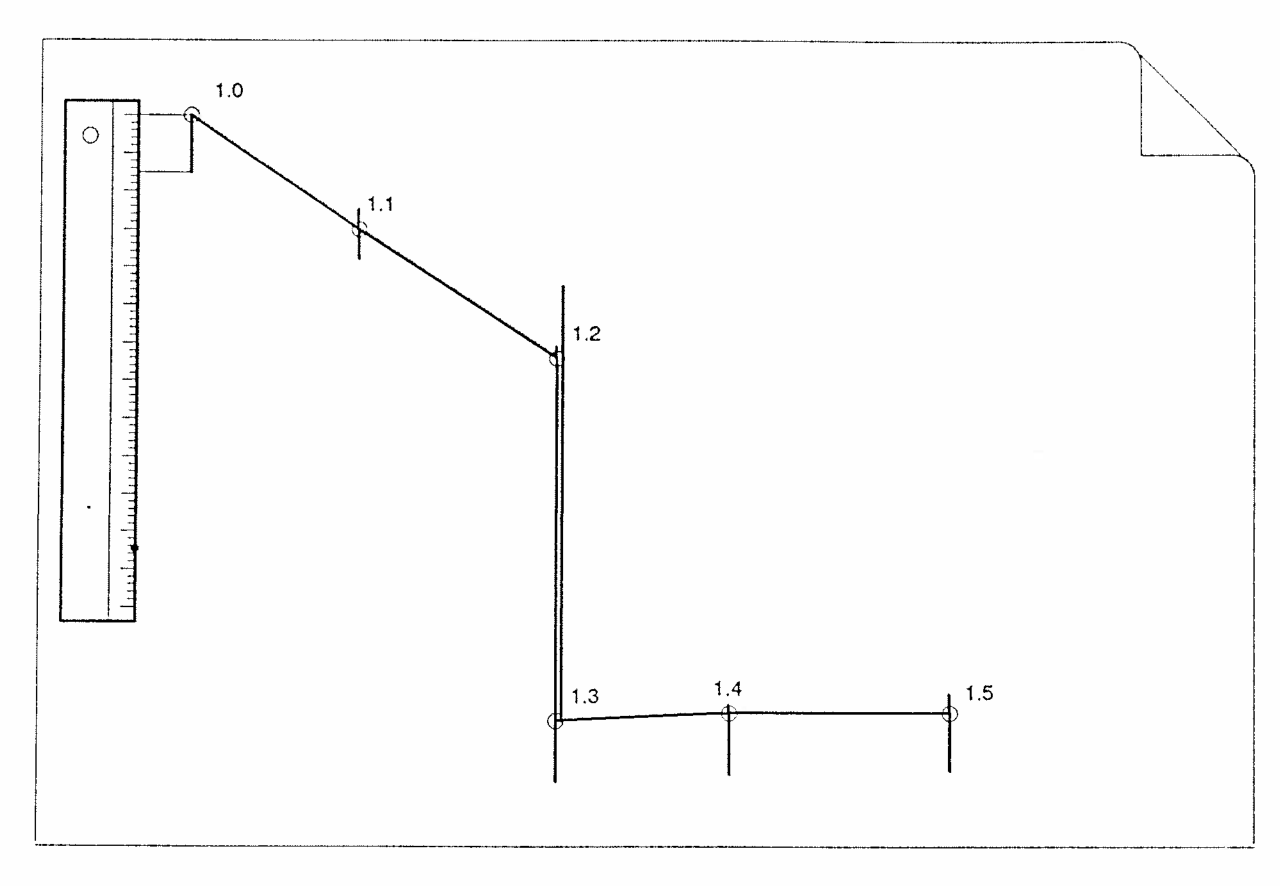


Fig. 5.9 Report des hauteurs (coupe développée)

Si l'on utilise les coordonnées polaires, un utilise de nouveau un rapporteur et une règle et l'on reporte chaque segment à la suite du précédent (fig. 5.7).

Si on travaille en coordonnées rectangulaires, on reporte chaque visée en utilisant la cote Z et la longueur projetée Lp (fig. 5.8).

On termine le canevas de la coupe en reportant les hauteurs mesurées à chaque point topo (fig. 5.9).

5.2.2 Habillage du canevas

L'habillage du canevas se fait à partir des croquis et des remarques effectués sous terre. On commence par dessiner le contour des galeries et l'on complète ensuite le dessin en ajoutant les détails, concrétions,

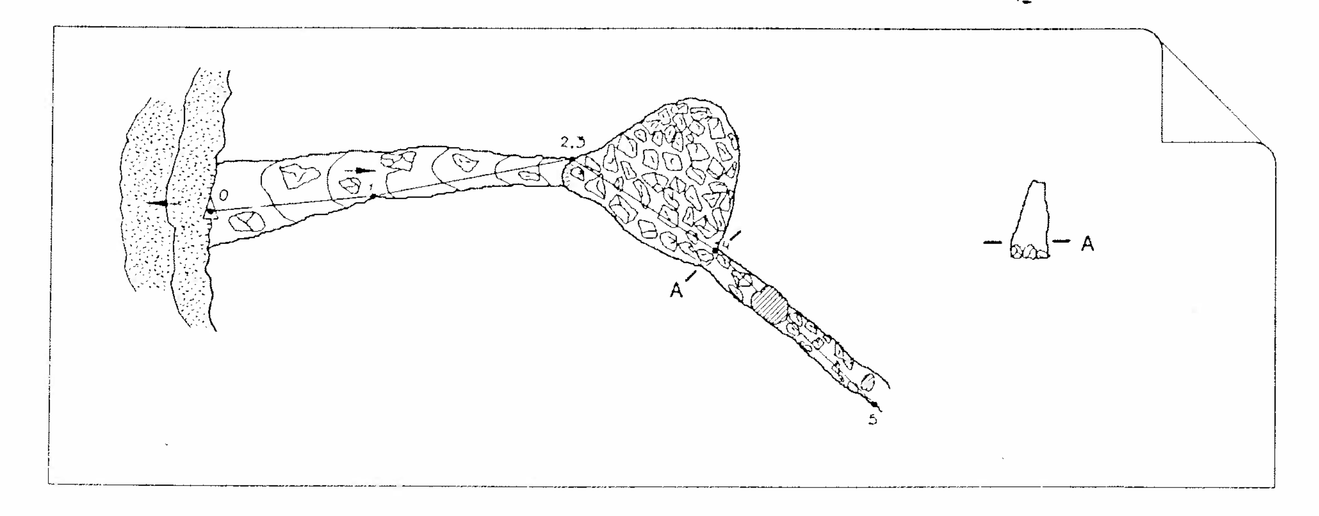


Fig. 5.10 Sections

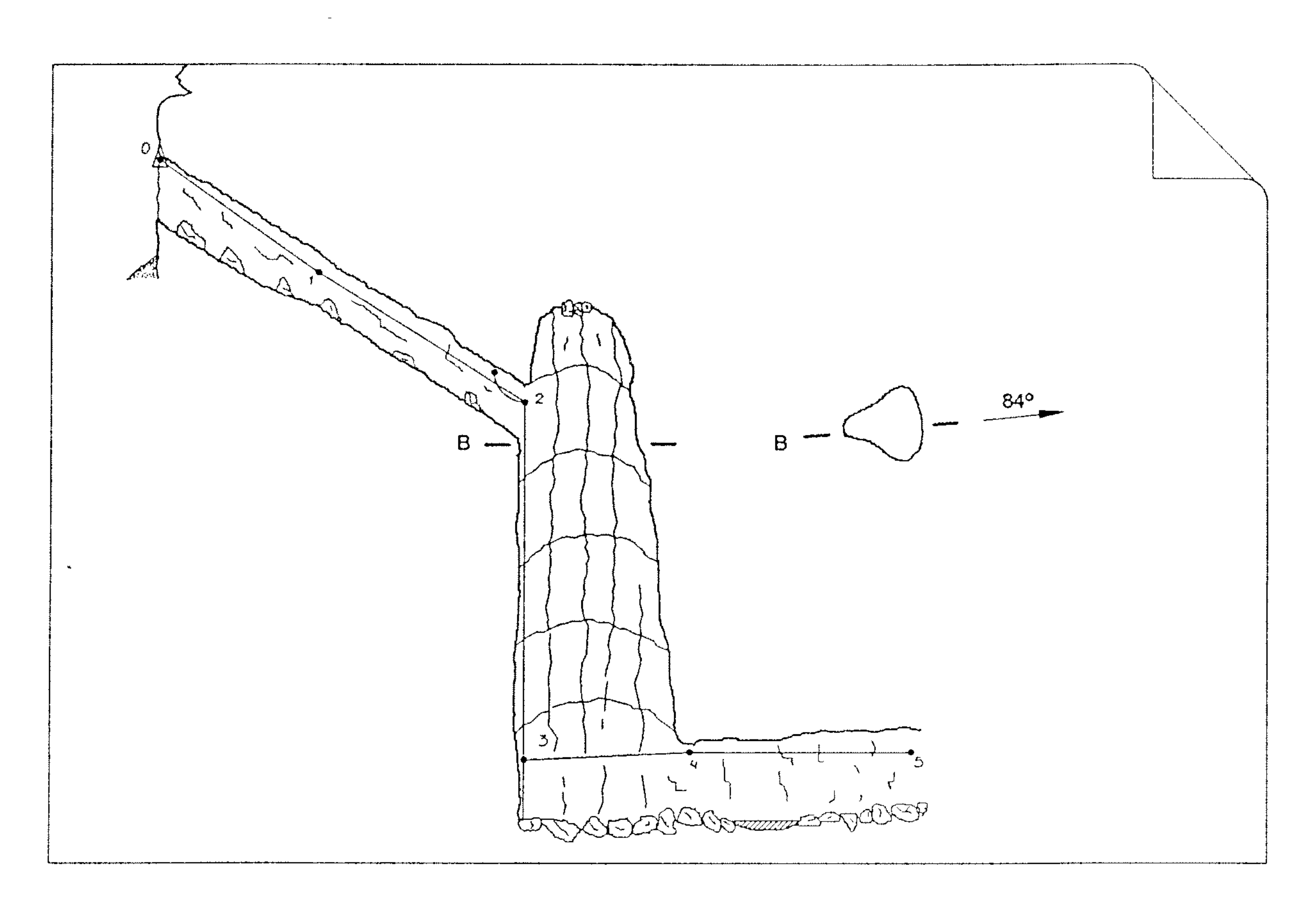


Fig. 5.11 Vues en plan

blocs, lacs, en utilisant les signes conventionnels décrits au paragraphe 3.2.10. Le dessin doit être fait de manière à rendre l'aspect de la cavité tel qu'il a été observé pendant la topographie.

Les sections de galeries peuvent être dessinées sur le plan ou sur la coupe développée, repérées à l'aide de lettres (fig. 5.10). Si des vues en plan sont ajoutées (fonds de puits, sections...) à la coupe développée, il est alors important d'indiquer quelle est l'orientation de tels plans (fig. 5.11).

5.2.3 Situations particulières

Le dessin d'une cavité simple ne pose pas de problèmes particuliers. Par contre les choses se compliquent dès que la cavité devient un peu plus complexe. Les galeries labyrinthiques à plusieurs étages ne sont pas évidentes à mettre «à plat»!
Lorsque plusieurs galeries se superposent, on dessinera la galerie du dessus avec un trait continu, et les galeries du dessous avec des pointillés, traitillés... afin de les différencier (fig. 5.12).
Des coupes selon différents axes peuvent être utilisées pour représenter certains détails, principalement dans une salle (fig. 5.13).
La coupe développée pose en général plus de problèmes que le plan. On regroupe en effet sur le même dessin des projections effectuées dans plusieurs plans différents.
Il se peut alors que des galeries ne se rejoignent pas comme on le voudrait et qu'il soit difficile de représenter certaines boucles. On indique par des traits et des flèches (fig. 5.14) les jonctions qu'il n'est pas possible de dessiner (même en trichant un peu!)

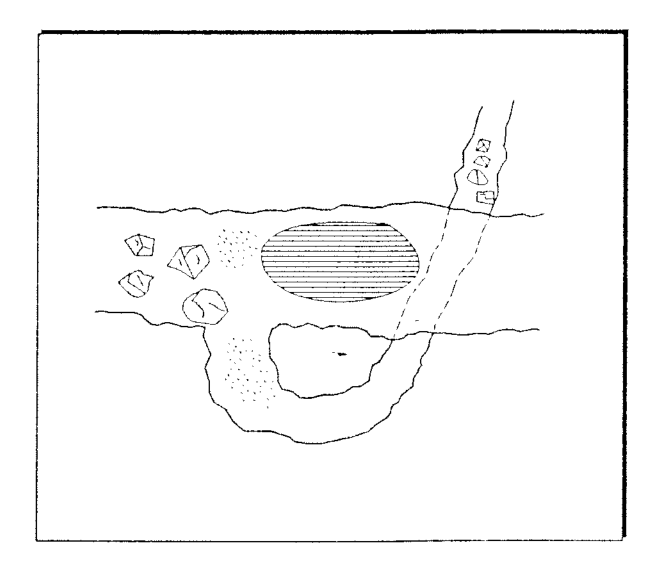


Fig. 5.12 Galeries superposées

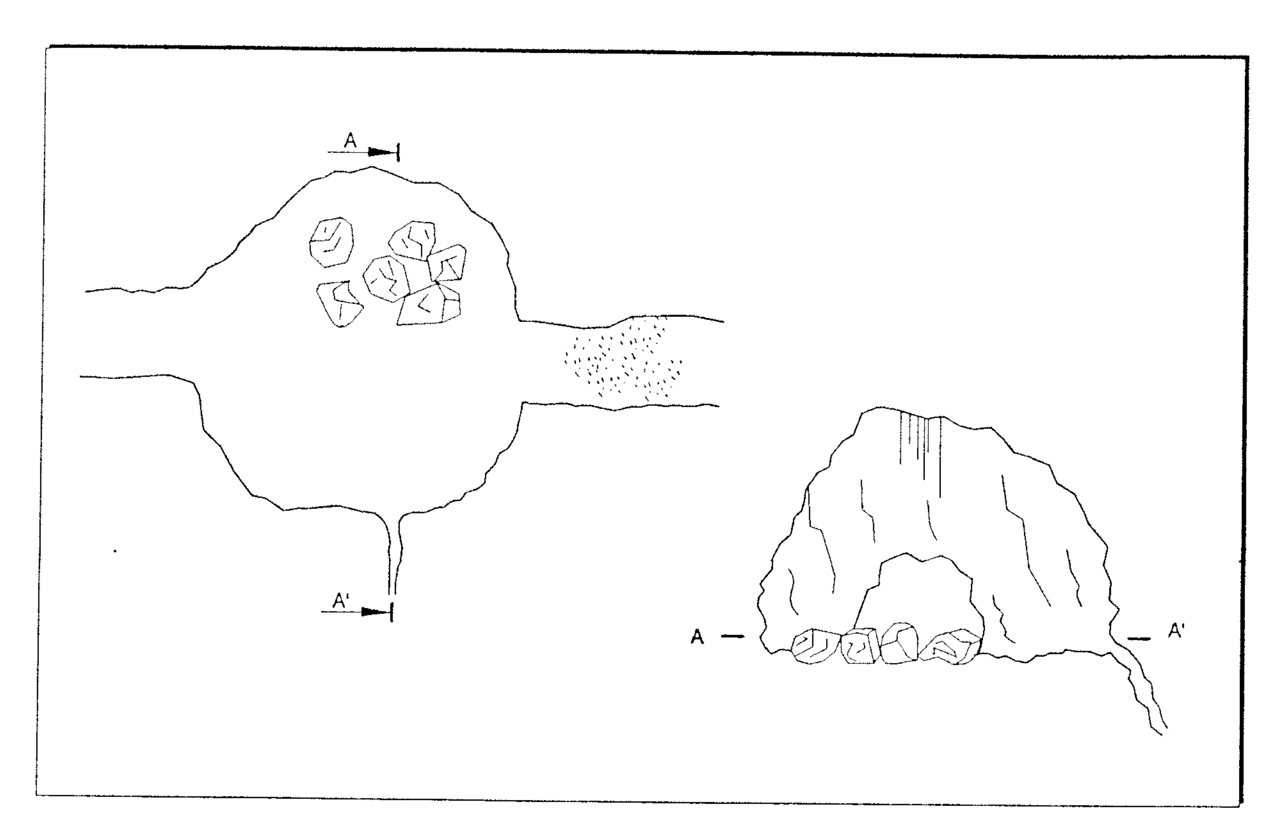


Fig. 5.13 Coupes selon différents axes

Lorsque plusieurs galeries se superposent dans la coupe développée, il est possible «d'éclater» le dessin afin de le rendre plus lisible (fig. 5.15).

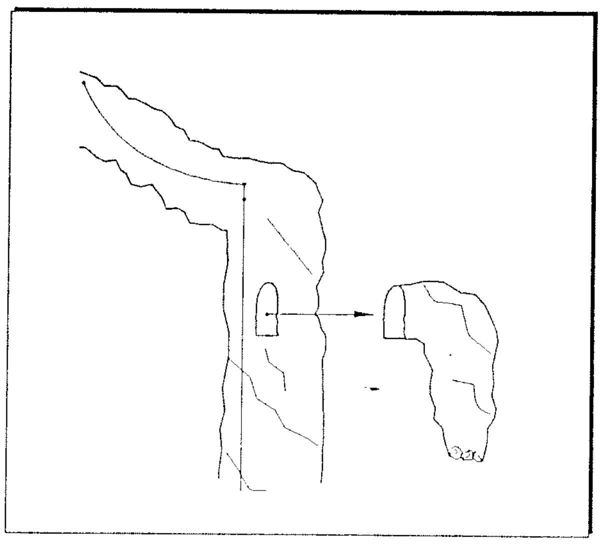


Fig. 5.15 Dessin éclaté

5.2.4 Mise à l'encre

Une fois le dessin sur papier millimétré terminé, on va recopier à l'encre les différentes vues, plan, coupes, sections, de notre topo. Il faut pour cela choisir une mise en page, c'est-à-dire disposer au mieux les différents dessins sur la surface disponible dont le format sera choisi en tenant compte de la publication future (A3, A4, A5 plutôt que des formats fantaisie!) On fixe alors un papier calque sur le dessin au crayon et l'on recopie à l'encre chaque dessin (en déplaçant le papier calque pour chaque vue) en ignorant les traits de constructions que sont les visées, les largeurs et les hauteurs des galeries.

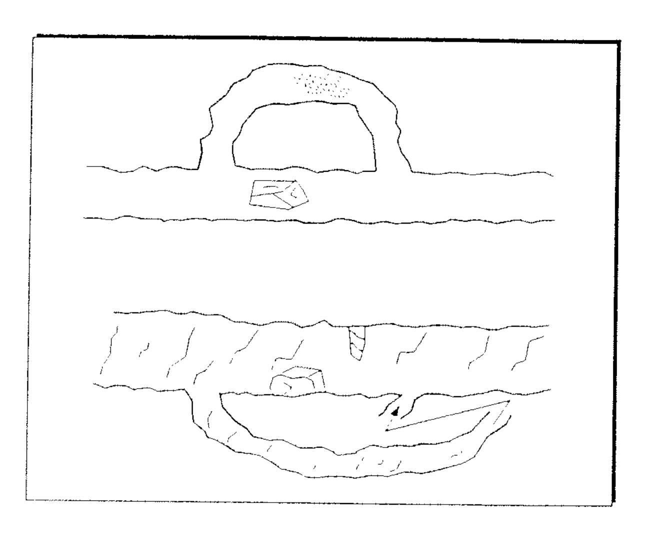


Fig. 5.14 Jonction impossible dans une coupe développée

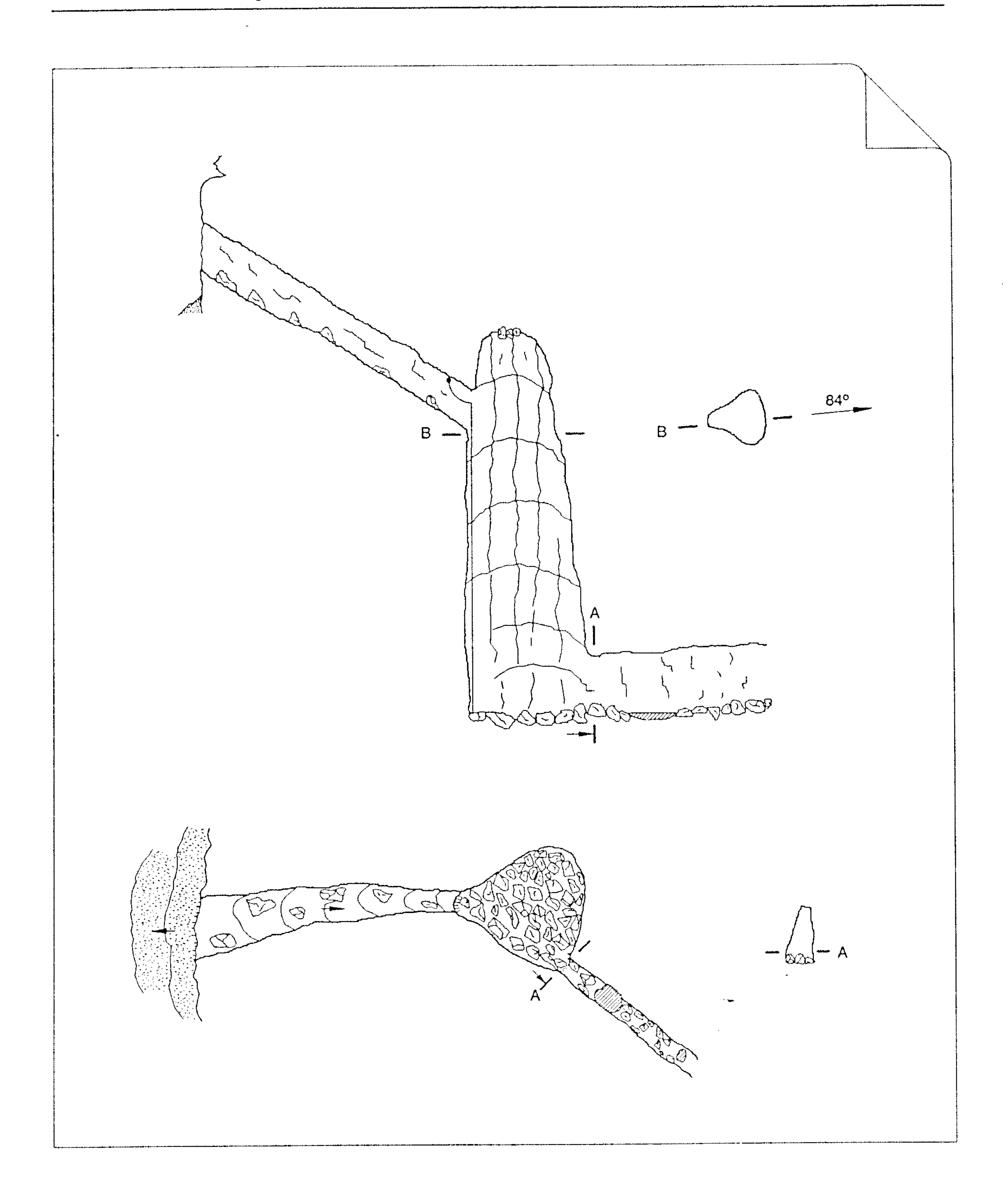


Fig. 5.16 Dessin mis à l'encre

5.2.5 Textes et symboles

On utilise des textes et des symboles pour préciser ce qui ne peut l'être par le dessin lui-même. Il ne faut en aucun cas surcharger le dessin par de trop longs commentaires.

Les informations qui doivent figurer sur une topo sont les suivantes:

- Identification de la cavité (nom, coord, commune)
- Echelle graphique

- Nord
- Précision
- Date et nom des topographes
- Position de la cote ±0 m sur le plan et sur la coupe développée

De plus on ajoutera des cotes qui indiqueront l'altitude de différents points par rapport à l'entrée (−12 m, +120 m) et la profondeur des puits, des ressauts... (P50, R10...)

L'échelle graphique et l'indication du Nord se feront à l'aide de symboles sobres et précis. Les exercices de style n'ont ici pas leur place.

5.2.6 Cotation de la précision

La «British Cave Research Association» (BCRA) a proposé en 1976 un système de cotation de la précision des topographies souterraines. Ce système est largement utilisé en Suisse et donne entière satisfaction. Nous reproduisons ci-dessous le principe de cette cotation tel qu'il a été publié par Jean-Claude LALOU dans la revue STALACTITE:

TABLEAU 1: COTATION DU CHEMINEMENT (Lignes de visées)

Degré 1	Dessin de basse précision établi sans mesures
Degré 2	Dessin dont la précision est intermédiaire aux degrés 1 et 3
Degré 3	Topographie magnétique moyenne. Directions et pentes mesurées à ±2.5°; distances mesurées à ±50 cm; erreur de centrage des stations inférieure à ±50 cm
Degré 4	Topographie dont la précision est intermédiaire aux degrés 3 et 5
Degré 5	Topographie magnétique. Directions et pentes mesurées à ±1°; distances mesurées à ±10 cm; erreur de centrage des stations inférieure à ±10 cm
Degré 6	Topographie magnétique plus exacte que le degré 5
Degré X	Topographie réalisée à l'aide d'un théodolite au lieu d'un compas.

Notes:

1. Dans tous les cas, on respectera l'esprit des définitions plus que la lettre.
2. Le mot exactitude, utilisé dans les définitions, signifie l'écart d'un résultat avec la valeur juste.
3. Pour atteindre le degré 3, il est nécessaire d'utiliser un clisimètre dans les passages dont la pente n'est pas négligeable.
4. Il est essentiel que les instruments aient été étalonnés si on veut atteindre le degré 5.
5. Une topographie de degré 6 exige l'utilisation du compas aux limites de l'exactitude possible, par exemple ±0,5°; les mesures du clisimètre doivent avoir la même exactitude. Les mesures de longueur et le centrage de stations doivent être réalisés à ±2,5 cm près; cela exigera l'utilisation du trépied, ou d'une technique similaire.

7. Une topographie de degré X doit donner, en plus de la liste des instruments et techniques utilisés, une estimation de l'exactitude probable en référence avec les degrés 3, 5 ou 6.
8. Les degrés 2 et 4 ne seront utilisés que quand, lors des mesures de certains passages, des conditions physiques ont empêché le topographe d'atteindre toutes les conditions requises pour le degré supérieur, et qu'il est trop difficile de reprendre la topographie.

TABLEAU II: COTATION DES DETAILS (Habillage du canevas)

Classe A:	Tous les détails sont reportés de mémoire
Classe B:	Détails estimés et notés sur place
Classe C:	Détails mesurés au niveau des stations topo seulement
Classe D:	Détails mesurés au niveau des stations, et entre les stations quand cela est rendu nécessaire par des changements significatifs de formes, dimensions, direction, etc...

TABLEAU III: COMBINAISON DEGRES/CLASSES RECOMMANDES

Degré 1A

Degré 3B ou 3C

Degré 5C ou 5D

Degré 6D

Degré XB, XC ou XD

On ajoutera le suffixe «/e» quand l'exactitude a été vérifiée par le report en surface de stations principales à l'aide de repérage électromagnétique.

5.2.7 Dernière touche

Une topo doit bien entendu, avant tout, représenter le plus fidèlement possible la cavité, toutefois l'esthétique du dessin n'est pas sans importance et il est important de soigner la présentation.
Pour cela, on choisira judicieusement l'épaisseur des traits, la taille et le style des écritures, et on n'hésitera pas à ajouter quelques détails agréables à l'oeil. Un ou deux arbres à l'entrée (s'il y en a!), un spéléo qui remonte le grand puits (pour donner l'échelle)... La règle étant de rester sobre!

5.2.8 Dessin de la cavité dans son contexte

Lorsque l'on étudie un massif, il est souvent très intéressant de visualiser en surface où se développe la cavité que l'on explore. Pour cela on peut reporter le plan d'une cavité sur une carte topographique en effectuant les calculs à la même échelle que la carte (1:25'000, 1:10'000...). On peut également reporter la coupe sur une coupe géologique. Pour cela, il faut réaliser une coupe projetée (et pas développée) selon le même axe que la coupe géologique. Ce travail est grandement facilité par l'usage de l'ordinateur.



10A2

Coordonnées: 740.567 / 250.123 / 1200 m
Commune: Champignac
Développement: 123 m
Profondeur: −86 m

Coupe développée

±0
Entrée
B
P11
A
−17
B
84°

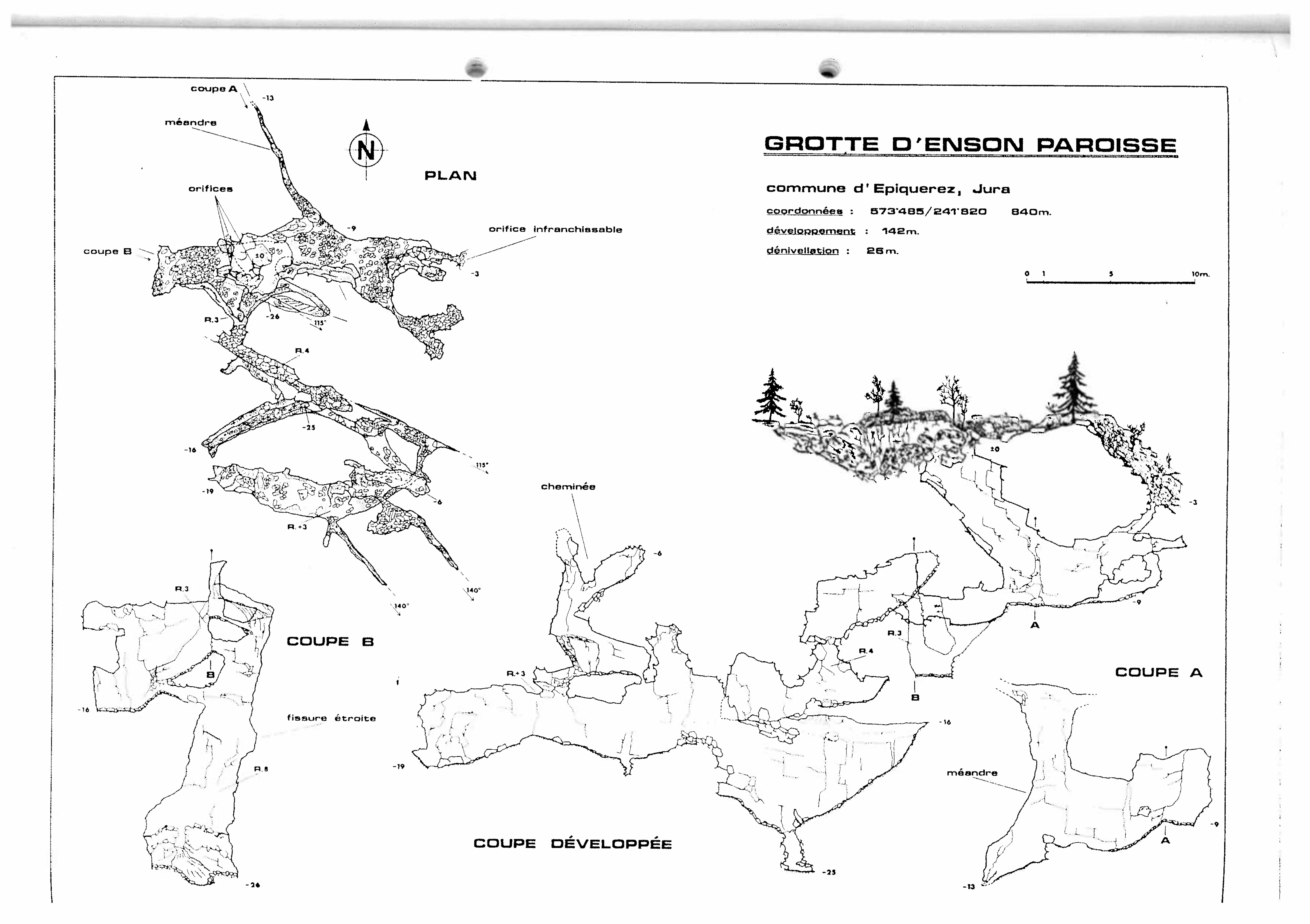
Plan

±0
−17
A
N
A

0 2 4 6 8 10m

Société Suisse de Spéléologie BCRA 5C A. Talon 91

Fig. 5.17 Présentation définitive


GROTTE D'ENSON PAROISSE
commune d'Epiquerez, Jura
coordonnées : 573'485/241'820 840m.
développement : 142m.
dénivellation : 26m.
0 1 5 10m.
PLAN
N
coupe A
-13
méandre
orifices
-9
orifice infranchissable
coupe B
20
-3
R.3
-26
115°
R.4
-25
-16
115°
-19
-6
R.+3
140°
140°
cheminée
-6
R.3
COUPE B
B
-16
fissure étroite
R.8
-26
R.+3
-19
COUPE DÉVELOPPÉE
R.3
R.4
B
-16
-25
A
-9
COUPE A
méandre
-9
A
-13

6. La publication

6.1 Nécessité de publier

Il est évident que l'important travail que représente la réalisation d'une topographie n'est pleinement justifié que lorsque les résultats des explorations sont publiés. La publication des topos est le seul moyen de faire savoir que telle cavité a été explorée par tel groupe de spéléos et il n'y a pas de meilleur moyen de protéger «sa» première que de faire savoir à tout le monde que l'on y travaille régulièrement!
L'intérêt scientifique est également évident car toute étude régionale commence par une recherche bibliographique destinée à savoir ce qui a déjà été fait dans cette région. Dans ce sens, une publication sur une cavité aura sa place dans la revue régionale ou nationale concernant la région où se trouve la cavité, plutôt que dans celle d'où viennent les explorateurs.

6.1.1 Conception d'un article

La plupart du temps, la présentation d'une cavité fera l'objet d'un article complet dans un journal de club ou de fédération. Outre le dessin proprement dit dont nous avons abondamment parlé au chapitre précédent, l'article contiendra un certain nombre de rubriques dans lesquelles on décrira la cavité. Parmi ces rubriques, on peut citer:

- «Situation et accès», où l'on indiquera la situation de la cavité, coordonnées, commune... ainsi que le chemin à suivre pour y parvenir.
- «Description», où l'on décrira la cavité. Ce texte qui est un complément au dessin doit permettre de préciser en particulier les aspects qui ne ressortent pas du dessin. On indiquera également quelles sont les perspectives de continuation.
- «Historique», on indiquera dans cette rubrique à quand remonte la découverte de la cavité et les étapes marquantes de son exploration.
- «Matériel», si du matériel particulier est nécessaire à l'exploration de la cavité décrite, on en donnera ici la liste. Le matériel destiné à l'équipement des obstacles (puits, ressauts...) est en général reporté dans un tableau, «la fiche d'équipement» (fig. 6.1).
- D'autres rubriques seront ajoutées selon les besoins et selon les informations dont on dispose: «Géologie», «Hydrogéologie», «Archéologie», «Faune», «Dangers», «Bibliographie»...

6.1.2 Réseau important

La topographie d'un réseau important pose toujours un problème du fait de la dimension des dessins originaux. Afin de s'accommoder au format A4 tout en gardant une bonne présentation, il est en général nécessaire d'établir un dessin simplifié de l'ensemble de la cavité et de reproduire ensuite les détails sous forme d'atlas.

Obstacles	Cordes	Amarrages	Remarques
P12	16 m	1AN + 2S	Puits d'entrée
P40	55 m	4S	Fractionnements à −10 et −18
R6	10 m	2S	Facultatif
P30	40 m	3S	Equiper à gauche
P800	850 m	2S	Plein vide

P: puits R: ressaut AN: amarrage naturel S: spit

Fig. 6.1 Fiche d'équipement

6.2 Les fichiers

Dans de nombreux pays, des fichiers, parfois informatisés, ont été constitués afin de recenser toutes les cavités connues du pays. Il est fondamental que chaque spéléologue envoie des informations concernant ses découvertes au responsable du fichier pour la région concernée.

6.2.1 Le fichier de la SSS

Le fichier de la Société Suisse de Spéléologie est géré par la commission Documentation qui possède des correspondants dans chaque région du pays. Des fiches d'archives permettent à chaque spéléo de décrire ses découvertes, et même s'il n'est pas à même de remplir toutes les rubriques (fort nombreuses!), il est important d'utiliser ces fiches normalisées (fig.6.2 a, b, c, d).

6.2.2 Cavités explorées à l'étranger

Lorsque l'on effectue des explorations dans d'autres pays, par exemple à l'occasion d'expéditions, il est fondamental de renseigner le pays concerné sur les travaux effectués.
Pour cela on transmettra au moins des copies des articles publiés, le mieux étant de pouvoir disposer de documents traduits en anglais, ou mieux, dans la langue de la région concernée.
Ces documents seront transmis à la fédération spéléologique du pays, si une telle fédération existe, ou au service géologique national.

Indice de classement
Région ....
No ....
....

Dénomination ....
Synonymes ....
Nature de la cavité ....
Canton ....
Commune........................... District.............................

Symbole

SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Carte .... Feuille ....
Coordonnées .... / ....
Altitude de l'orifice ....
Déterminée par : (évaluation, lecture de carte, altimètre).
Dimensions de l'orifice ....
Accès, repères ....
....
....
....

(Annexes intercalaires Réf.1)

TOPOGRAPHIE DE LA CAVITÉ

(Annexes intercalaires Réf.2)

Développement.. Cotes extrêmes ....
Hauteur totale .... Profondeur (au-dessous de l'orifice) ....
Enumération des galeries et puits, avec dimensions et description, obstacles principaux et temps de parcours.

Plan et coupe, (intercalaire 2)

CENTRE D'HYDROGÉOLOGIE DE L'UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL
CENTRE DE DOCUMENTATION DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DE SPÉLÉOLOGIE

Fig. 6.2a Fiche SSS

GÉOLOGIE

(Annexes intercalaires Réf.3)

Carte géologique ....

	Nature du terrain	
	lithologie	stratigraphie
A l'orifice		
En profondeur		

Direction et plongement des couches ....
(avec indication exacte de l'emploi de la mesure)
Nature des remplissages (indiquer les emplacements sur les plans et coupes en utilisant les signes UIS)
....
....
Observations géologiques, tectoniques, géomorphologiques: ....
....
....
Observations diverses: ....
....

HYDROGÉOLOGIE

(Annexes intercalaires Réf.4)

*Souligner ce qui convient
Orifice: (non fonctionnel - émergence - perte - pérenne - temporaire*)
....
Présence d'eau: (cours d'eau, pérenne ou temporaire, neige, glace, etc. *)
....
....
Origine de l'eau: (pertes superficielles, cours d'eau, infiltrations, etc. *)
....
....

Emergence probable ou connue - bassin ....
....
Caractéristique de l'écoulement: (situation des écoulements, plans d'eau, infiltrations, suintements, zones sèches et noyées, absorbtions, etc.)
....
....
....
Températures et débits ....

Date	Débit	Température	Emplacement Observations diverses

Fig. 6.2b Fiche SSS

Chimisme des points d'eau

Date et lieu de prélèvement	pH	Conductibilité électrique à 25°C	Dureté totale en mg/l Ca CO3	Dureté temporaire mg/l Ca CO3

MÉTÉOROLOGIE

(Annexes intercalaires Réf.5)

Présence de courants d'air : (indiquer dans quelle partie de la cavité, direction, date et heure de l'observation)

....

....

Présence de gaz (toxiques et autres) ....

....

Hygrométrie (lieu, date, heure et degré en %) ....

....

Température (No Réf.* indiquer emplacement sur croquis ou plan)

Date	Temp.ext.	Réf.	Temp.int.*	Date	Temp.ext.	Réf.	Temp.int.*	

BIOLOGIE

(Annexes intercalaires Réf.6)

Présence de faune : (ind. emplacements s/croquis)

Pariétale

Troglobies aquatiques

Troglobies terrestres

Chauves-souris

Flore

Observations diverses

Fig. 6.2c Fiche SSS

ARCHÉOLOGIE - PALÉONTOLOGIE

(Annexes intercalaires Réf.7)

Gisements (paléolitique, néolitique, faune, etc.) ....

Emplacement ....

Nature et importance ....

Travaux effectués (sondages, fouilles) ....

Observations diverses ....

IMPORTANT: N'entreprendre aucune fouille sans autorisation officielle

INTERVENTIONS HUMAINES

(Annexes intercalaires Réf.8)

Utilisation industrielle, travaux artificiels, exploitation touristique, pollution etc.

MATÉRIEL - DIFFICULTÉS - DANGERS

Echelles .... Cordes .... Matériel spécial....................
Difficultés ....
Dangers ....

EXPLORATION

Découvertes ....
Explorations antérieures ....

BIBLIOGRAPHIE

(Annexes intercalaires Réf.9)

OBSERVATIONS COMPLÉMENTAIRES

(Annexes intercalaires Réf.10)

Renseignements transmis par : ....
Rédacteur de la fiche : ....SSS. .... Date ....
Mise à jour : .... Date ....
Annexes intercalaires (nombres)

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.

Fig. 6.2d Fiche SSS

Grotte de la Tourne

Commune de Rochefort, NE
551.200/204.400   1006 m

COUPE DEVELOPPEE

t −2.5
s
r
q
o
n
p
m
−30
l −13
u −12
porte
−0
+4
a
P 18
−10
b
e
c
−24
−27
j
k
f
−41
d −33



0   5   10 m

Topographie: Speleo-Club du Vignoble Neuchâtelois 1987   BCRA 4D   Dessin: Yvan Grossenbacher 1987

A. Topographie de surface

A.1 Introduction

En général, les coordonnées de l'entrée d'une cavité sont déterminées par cheminement à partir d'un point connu. On utilise pour cela les mêmes instruments que sous terre et la précision obtenue est en principe suffisante pour identifier une cavité isolée.

La situation est différente sur un lapiaz où l'on trouve un grand nombre de cavités, et en général peu de points de repères. Les coordonnées des entrées doivent alors être déterminées avec une précision de l'ordre du mètre, afin de pouvoir, à coup sûr, les identifier. Il est d'autre part important, lorsque l'on topographie un réseau à plusieurs entrées de connaître précisément la position des entrées les unes vis-à-vis des autres.

A.2 Préparation d'un lapiaz

Le lapiaz sur lequel on désire travailler doit tout d'abord être découpé en un certain nombre de zones.

Ces zones peuvent être choisies arbitrairement ou, mieux, en fonction de la morphologie du lapiaz. Les limites de zones doivent se trouver sur des crêtes de manière à pouvoir viser des points de base sans problèmes.

A.2.1 Recherche des points de base

Les points de base sont des points dont on connaît les coordonnées à 10cm près et qui serviront de base aux mensurations de surface.
Certains de ces points (pas tous) sont indiqués sur les cartes au 1:25'000 (fig. A.1).

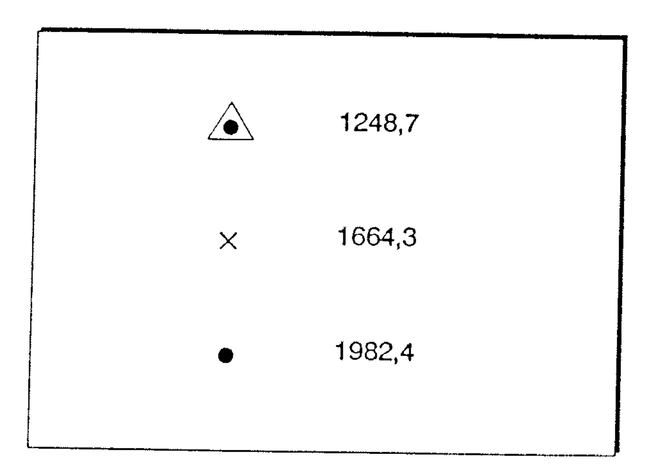


Fig. A.1 Points de triangulation

D'autres points peuvent être trouvés sur les plans au 1:10'000 ou 1:5'000 que l'on trouve au service cantonal du cadastre ou au service topographique fédéral.

Les coordonnées précises des points ainsi que leur croquis de repérage, s'obtiennent au même endroit.

A.2.2 Subdivision en secteurs

Afin de faciliter la prospection systématique, on divise chaque zone en secteurs en choisissant des limites de secteurs placées sur des crêtes où la visibilité des points de base est bonne.

A.2.3 Matérialisation des points fixes

Des points fixes sont placés aux limites ou aux centres des secteurs, sur des points dominants afin de faciliter les visées. Chaque point est matérialisé par la taille d'une croix (au moins 1cm de profond), par la pose d'une douille gravée ou par un spit muni d'une plaquette gravée. Le numéro de chaque point doit être inscrit sur le point. Un croquis de localisation du point et 2 ou 3 visées à la boussole vers d'autres points fixes faciliteront un repérage ultérieur.
Un cairn dressé à proximité permet de retrouver le point plus facilement.

A.3 Mensurations de surface

Une fois les points fixes en place, on désire connaître la position exacte de ces points par rapport aux points de base. Pour cela, on peut utiliser les mêmes instruments que sous terre, ou mieux un théodolite.

A.3.1 Levé par cheminement

On utilise la même méthode que sous terre, en partant d'un point de base, on passe par un point fixe à déterminer et l'on continue vers un second point de base. Cette méthode permet de diminuer l'erreur et de détecter les fautes grossières.

A.3.2 Levé au théodolite

C'est sans doute la meilleure méthode, alliant rapidité et précision. La difficulté est de trouver un spéléo géomètre disposé à effectuer ce travail de mensuration.

A.4 Coordonnées des entrées

Une fois les mensurations de surface terminées, on peut commencer la prospection systématique du lapiaz. Chaque cavité découverte sera positionnée à partir des points fixes.
Pour cela, on utilise le levé par cheminement, en partant d'un point fixe, on passe par l'entrée à déterminer et l'on continue les visées vers un second point fixe (même principe que A.3.1).

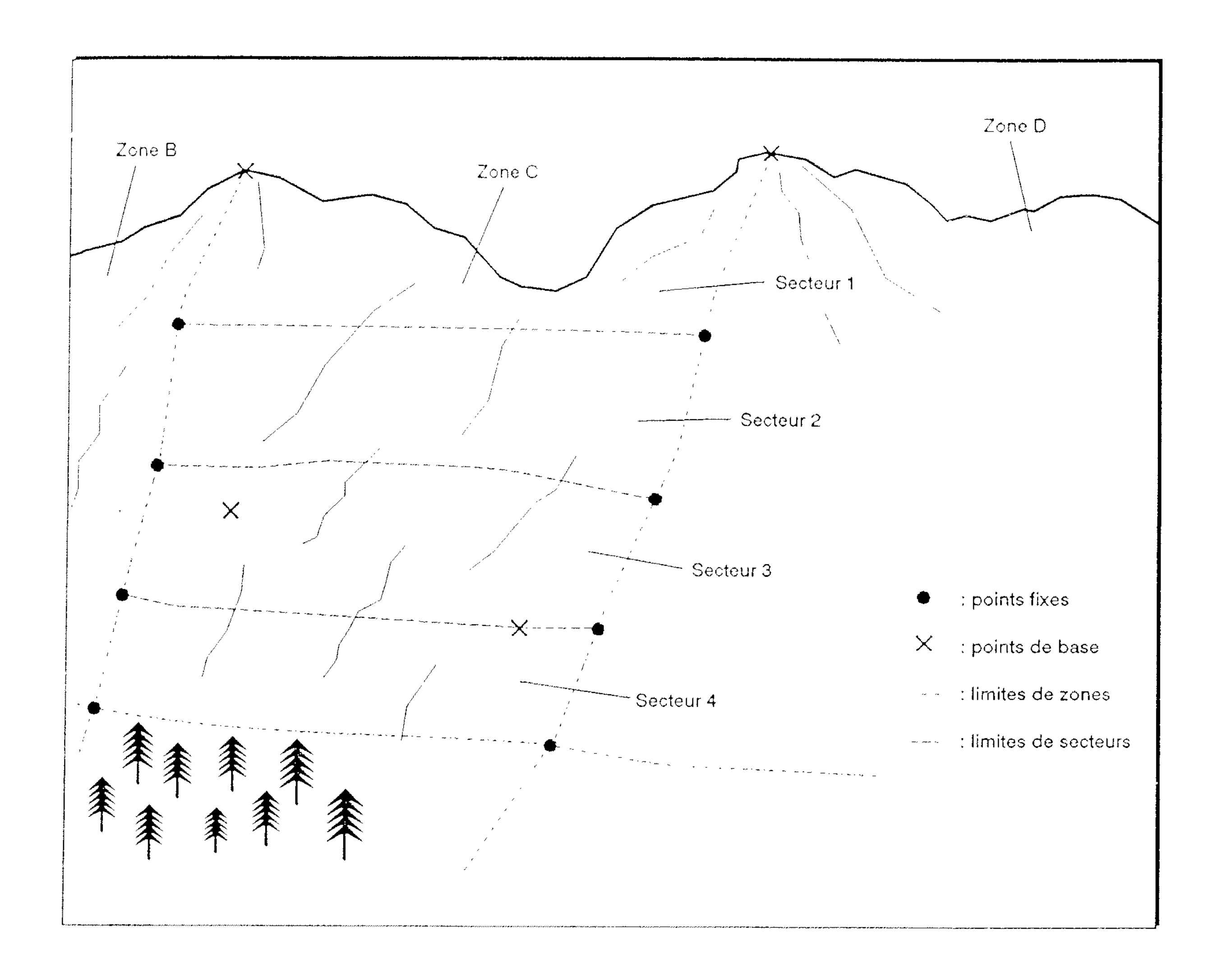
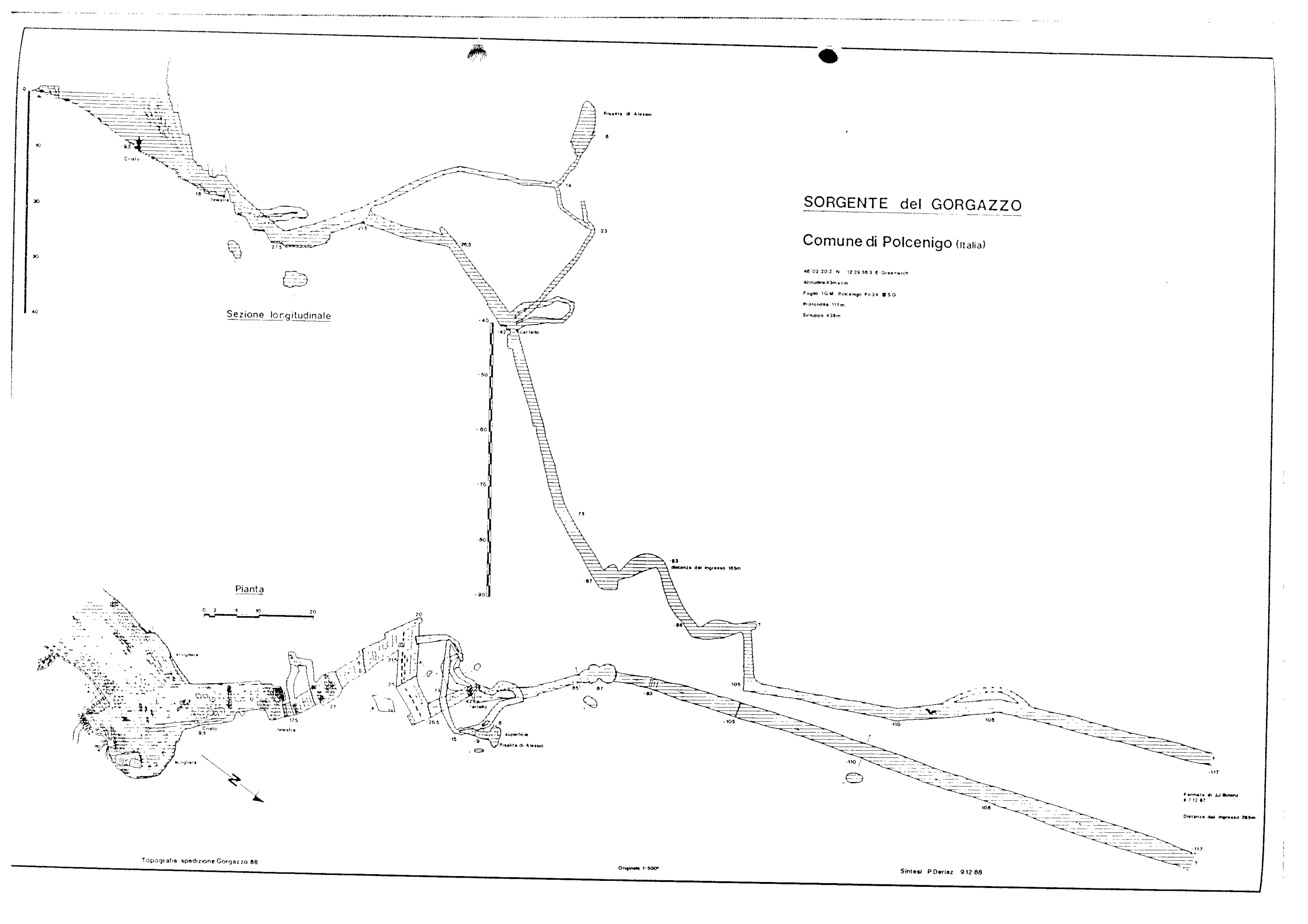


Fig. A.2 Subdivision en secteurs


SORGENTE del GORGAZZO
Comune di Polcenigo (Italia)
46°02 20,2 N 12 29 38 3 E Greenwich
Altitudine 43m s l m
Foglio I G M Polcenigo Fo 24 III S O
Profondità 117m
Sviluppo 438m
Sezione longitudinale
Risalita di Alessio
cartello
distanza dal ingresso 165m
Pianta
finestra
Cristo
scogliera
superficie
Risalita di Alessio
Fermata di J.J Bolanz
Distanza dal ingresso 285m
Topografia spedizione Gorgazzo 88
Originale 1/500°
Sintesi P Deriaz 9 12 88

B. Topographie en siphon

B.1 Introduction

Le principe de la topographie en siphon n'est pas très différent de celui de la topographie classique. On utilise le fil d'Ariane pour matérialiser les visées et la mesure de la pente est remplacée par la mesure de la profondeur.

B.2 Instruments de levé

Les instruments utilisés pour la topographie en siphon doivent être adaptés aux conditions, c'est-à-dire résister à l'eau, à la pression et être lisibles à travers un masque! La précision des instruments devrait être du même ordre que pour la topographie classique.

B.2.1 Mesure des longueurs

Deux principes peuvent être utilisés pour la mesure des longueurs: le fil d'Ariane et la chevillière.
Le fil d'Ariane est marqué tous les cinq mètres et la longueur des visées est estimée à partir de ces repères. Il faut faire attention de fixer le fil d'Ariane sans perdre de la longueur (il ne faut pas faire le tour d'un bloc!)
La chevillière (voir 3.1.1) permet des mesures plus précises, mais nécessite plus de temps et un second plongeur pour tenir l'autre extrémité!

B.2.2 Mesure des directions

La direction est mesurée à l'aide d'une boussole ou d'un compas (fig. B.1). Il faut choisir un modèle permettant la lecture dans toutes les positions. Les meilleurs compas atteignent une précision de quelques degrés. Le matériel de plongée comporte de nombreuses pièces métalliques; il faut donc se méfier des influences magnétiques!

B.2.3 Mesure des profondeurs

La profondeur est mesurée à l'aide d'un profondimètre, instrument qui mesure la pression à l'endroit considéré. Les profondimètres mécaniques sont les plus répandus; ils sont toutefois moins précis que les profondimètres électroniques de plus en plus utilisés (fig. B.2).

B.2.4 Inscription des résultats

Comme pour la topo classique on utilise en plongée un carnet format A6 ou une planchette topo, sur laquelle on fixe parfois le compas. Pour écrire, un Fix-pencil ou un crayon conviennent parfaitement. Les feuilles topo sont en syntosil et la colonne habituellement utilisée pour noter la pente est utilisée pour la profondeur. Le canevas d'une feuille topo

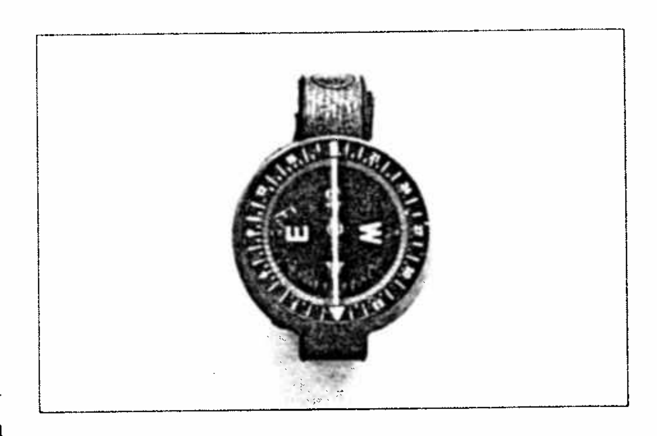


Fig. B.1 Boussole Scubapro



Fig. B.2 Ordinateur de plongée Aladin

plongée est moins serré que celui d'une feuille topo spéléo, car il est plus difficile d'écrire sous l'eau.

B.3 Technique de levé

Les techniques utilisées pour le levé d'une topographie en siphon sont relativement semblables à celles décrites au chapitre 3.2. Selon la visibilité, le levé sera effectué par un ou deux plongeurs.

B.3.1 Topographie à un plongeur

Lorsque le siphon est petit et la visibilité faible, il vaut mieux faire la topo seul. Le plongeur effectue toutes les mesures et prend les notes.
A l'entrée du siphon, ou au début de la galerie à topographier, le plongeur note la profondeur du point topo où il se trouve, la distance marquée sur le fil d'Ariane (qui peut très bien être différente de zéro!) et les dimensions de départ (fig. B.3).
Avant de nager au point suivant, il mesure la direction du fil qu'il écrit sur la ligne suivante de la feuille topo (fig. B.4)

Fiche No:	Cavité: 11B6	Région/zone: 11B	Mesures: A. Talon	Date:
1/1	Galerie: 1	Instruments: Silva360/Aladin/AT	Notes/dessin: G. Lambert	10/6/91

No	L [m]	N [0]	Prof. [m]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	Remarques
0	28	–	−5	1	2	1	1	Point 0 au fond
1								
2								
3								
4								
5								
6								

Fig. B.3 Inscription des mesures au point 0

Fiche No:	Cavité: 11B6	Région/zone: 11B	Mesures: A. Talon	Date:
1/1	Galerie: 1	Instruments: Silva360/Aladin/AT	Notes/dessin: G. Lambert	10/6/91

No	L [m]	N [0]	Prof. [m]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	Remarques
0	28	–	−5	1	2	1	1	Point 0 au fond
1		250						
2								
3								
4								
5								
6								

Fig. B.4 Inscription de la direction entre 0 et 1

Fiche No: [illegible]	Cavité: [illegible] / Galerie: 1	Région/zone: [illegible] / Instruments: [illegible]	Mesures: [illegible] / Notes/dessin: [illegible]	Date: [illegible]

No	L [m]	N [°]	Prof. [m]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	Remarques
0	28	–	–5	1	2	1	1	Point 0 au fond
1	35	250	-8	1	3	1,5	1,5	
2		280						
3								
4								
5								
6								

Fig. B.5 Inscriptions au point 1

Au point suivant, il note la distance, la profondeur et les dimensions de la galerie. Avant de continuer, il mesure la direction du fil et l'inscrit sur la ligne suivante de la feuille topo (fig. B.5)

B.3.2 Topographie à deux plongeurs

Si la visibilité et la taille du siphon le permettent, le levé est effectué par deux plongeurs. La méthode de notation ne change pas et plusieurs répartitions des tâches sont possibles:

- Un plongeur prend les notes et effectue la mesure tandis que le second choisit les points topo. Les visées se font sur la lumière du plongeur.
- Le plongeur de tête tire la chevillière jusqu'au prochain point topo et se retourne lorsqu'il arrive. Le second plongeur mesure alors la distance, la direction, la profondeur et la section.
- Un plongeur effectue les visées pendant que le second mesure les sections. Chacun note ses mesures.

Quel que soit le principe choisi pour une topo à deux,

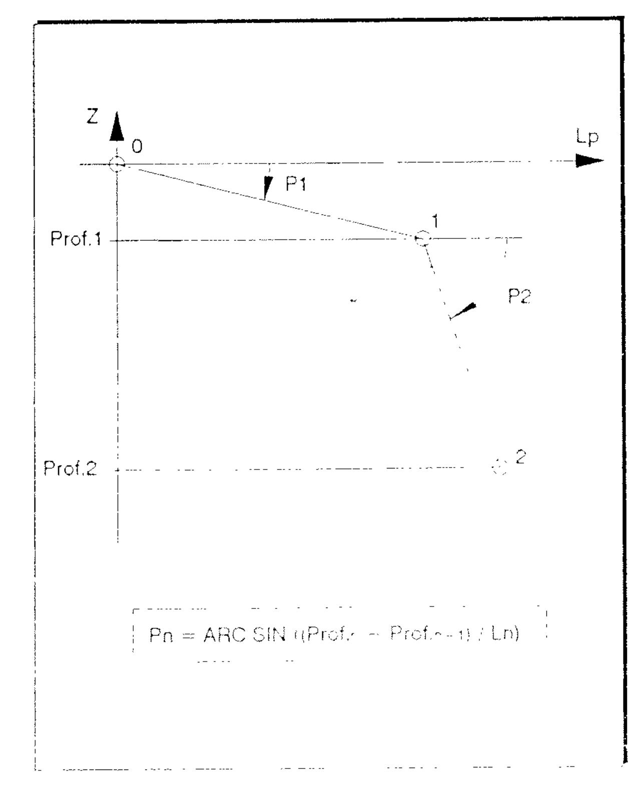


Fig. B.6 Calcul de la pente

il est nécessaire d'avoir une bonne compréhension et une excellente synchronisation entre les deux plongeurs.

B.4 Les calculs

Les méthodes de calcul exposées au chapitre 4. peuvent également être utilisées pour la topo en siphon. Il faut toutefois au préalable calculer la pente de chaque visée d'après les mesures faites au profondimètre.

B.4.1 Fiches de mise au net

La fiche de mise au net pour topographie en siphon comporte une colonne supplémentaire «Prof.» pour le report de la profondeur. La colonne «P» est déplacée dans la partie réservée aux valeurs calculées.

B.4.2 Calcul de la pente

La pente de chaque visée peut être calculée à l'aide de la longueur et des profondeurs à chaque extrémité de la visée (fig. B.6).
On calcule pour chaque visée la pente correspondante à l'aide de la formule suivante:

$$P_n = \text{ARC SIN } ((\text{Prof.}_n - \text{Prof.}_{n-1}) / L_n)$$

où:

Pn	est la pente de la visée «n»
Prof._n	est la profondeur au point «n»
Prof._{n-1}	est la profondeur au point «n-1»
Ln	est la longueur de la visée

Exemple:

Prof.0 = −5 m

Prof.1 = −8 m

L1 = 7 m (35−28)

----> P1 = ARC SIN ((−8−(−5)) / 7)

P1 = −25,4°

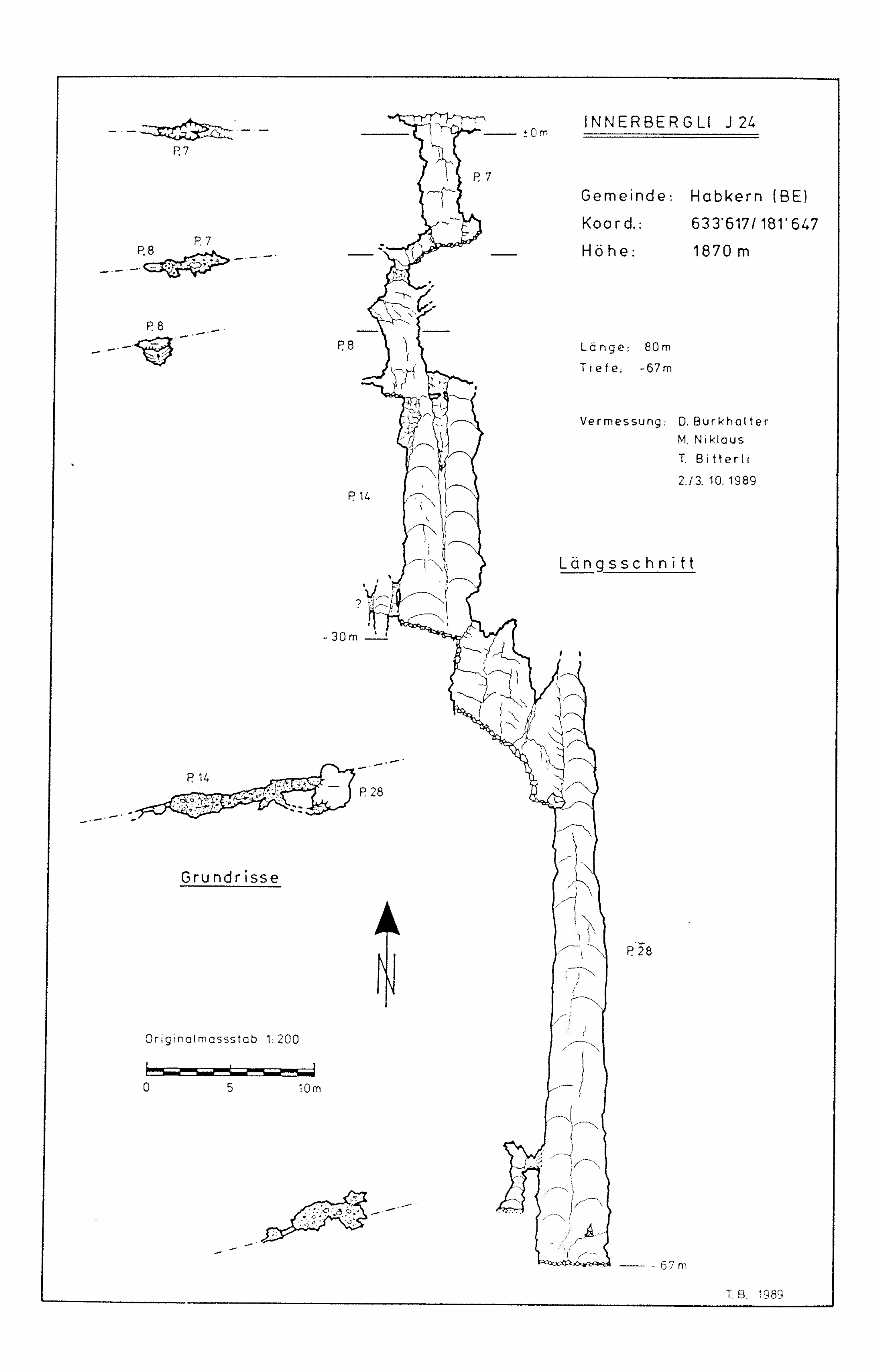
La pente ainsi calculée est ensuite reportée dans la colonne «P» de la fiche de mise au net (fig. B.7).

Fiche No: 1/1	Cavité: 11Ø6	Coordonnées:	Echelle:	Instruments:	Levé par:	Date:
	Galerie: 1	Y	1/ 200	L: Chevillière AT	Mesures: A. Talon	10.6.91
	Commune:	X	Déclinaison:	D: Silva 360 AC	Notes/dessin: D. Lambert	
	Canton:	Z	-0.66	Prof: Aladin AC	Calculé par: D. Lambert	12.6.91

No	L [m]	D [°]	Prof. [m]	← [m]	→ [m]	↑ [m]	↓ [m]	L [mm]	P [°]	Lp [mm]	A [°]	Y [mm]	X [mm]	Z [mm]	← [mm]	→ [mm]	↑ [mm]	↓ [mm]	Remarques
1.0	28	–	-5	1	2	1	1	–	–										Point 0 au fond
1.1	35	250	-8	1	3	1.5	1.5	7	-25										
1.2		280																	

Pn = ARC SIN ((Prof. n − Prof. n−1) / Ln)

Fig. B.7 Report de la pente



INNERBERGLI J 24
Gemeinde: Habkern (BE)
Koord.: 633'617/181'647
Höhe: 1870 m
Länge: 80m
Tiefe: -67m
Vermessung: D. Burkhalter
M. Niklaus
T. Bitterli
2./3. 10. 1989
Längsschnitt
Grundrisse
Originalmassstab 1:200
0
5
10m
±0m
-30m
-67m
P. 7
P. 8
P. 14
P. 28
?
N
T. B. 1989

C. Calcul des boucles

C.1 Introduction

Comme nous l'avons signalé au chapitre 4.2.6, l'imprécision des mesures effectuées sous terre entraîne une erreur lors de la fermeture d'une boucle. Le point de départ et le point d'arrivée de la boucle ne coïncident pas. Il faut alors tricher pour répartir l'erreur sur toutes les visées de la boucle. Il apparaît assez vite que la correction manuelle des boucles est très subjective et devient impossible dès que plusieurs boucles interviennent.

Avec l'aide d'un ordinateur, il est possible de calculer la meilleure manière de répartir les erreurs sur les visées.
Dans cette annexe, nous exposons une méthode de calcul, mise au point par Eric TAILLARD, qui est simple à programmer, et qui permet à un PC de calculer en quelques secondes un réseau comportant de nombreuses boucles!

C.2 Méthode de calcul

On définira les m visées que l'on a faites par les vecteurs de taille m: $n^{départ}$, $n^{arrivée}$, L, A, P, Δ^Y, Δ^X, Δ^Z où la $i^{ième}$ composante de chacun de ces vecteurs donne pour la visée i respectivement: le n° du point topo dont elle est issue, le n° du point topo où elle aboutit, sa longueur, son azimut, sa pente, sa contribution à l'accroissement des coordonnées en Y, X et Z.

Nous avons donc:

$$\Delta^Y_i = L_i \cdot COS(P_i) \cdot SIN(A_i)$$

$$\Delta^X_i = L_i \cdot COS(P_i) \cdot COS(A_i)$$

$$\Delta^Z_i = L_i \cdot SIN(P_i)$$

On suppose que les coordonnées du point topo 0 sont (0; 0; 0) et que l'on cherche les coordonnées des n autres points topos (numérotés de 1 à n).

Ces coordonnées sont contenues dans les trois vecteurs de taille n: Y, X et Z, dont la $j^{ième}$ composante donne la coordonnée en Y, X et Z du point topo n° j.

Soit la matrice R de taille m x n décrivant le réseau et dont la composante r_{ij} est définie par:

$$r_{ij} = \begin{cases} -1 \text{ si } n_{i\,départ} = j \\ 1 \text{ si } n_{i\,arrivée} = j \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

Pour un réseau où les visées seraient faites sans erreur on peut écrire puisque

$$\Delta^Y_i = Yn_{i\,arrivée} - Yn_{i\,départ},$$

$$\Delta^X_i = Xn_{i\,arrivée} - Xn_{i\,départ} \text{ et}$$

$$\Delta^Z_i = Zn_{i\,arrivée} - Zn_{i\,départ}:$$

$$RY = \Delta^Y, \quad RX = \Delta^X \text{ et } RZ = \Delta^Z$$

Malheureusement, les visées sont imprécises et il faut additionner une petite erreur e^Y, e^X et e^Z pour chaque visée:

$$RY = \Delta^Y + e^Y, RX = \Delta^X + e^X \text{ et } RZ = \Delta^Z + e^Z$$

On veut trouver des coordonnées Y, X et Z telles qu'on puisse écrire ces équations avec les vecteurs $\mathbf{e}^Y$, e^X et e^Z les plus petits possibles. Plus précisément, on veut minimiser les sommes pondérées:

$$\sum_{i=1}^{m} w^Y_i \cdot (e^Y_i)^2,$$

$$\sum_{i=1}^{m} w^X_i \cdot (e^X_i)^2 \text{ et}$$

$$\sum_{i=1}^{m} w^Z_i \cdot (e^Z_i)^2,$$

car il faut que les composantes de chacun de ces vecteurs soient proportionnelles à l'erreur estimée que l'on a pu faire pour chaque mesure.
Soient les valeurs p^L, p^A et p^P donnant respectivement le précision en % à laquelle on mesure les longueurs, les azimuts et les pentes. On attribuera donc un poids w^Y, w^X et w^Z inversément proportionnel à l'erreur dans les directions Y, X et Z pour chaque visée:

$$w^Y_i = 1/(|p^L \cdot L_i \cdot COS(P_i) \cdot SIN(A_i)| +$$
(contribution sur Y de l'erreur de longueur)

$$|2\pi \cdot p^A \cdot L_i \cdot COS(P_i) \cdot COS(A_i)| +$$
(contribution sur Y provenant de l'azimut)

$$|2\pi \cdot p^P \cdot L_i \cdot SIN(P_i)|)$$
(contribution sur Y provenant de la pente)

$$w^X_i = 1/(|p^L \cdot L_i \cdot COS(P_i) \cdot COS(A_i)| + |2\pi \cdot p^A \cdot L_i \cdot COS(P_i) \cdot SIN(A_i)| + |2\pi \cdot p^P \cdot L_i \cdot SIN(P_i)|)$$

$$w^Z_i = 1/(|p^L \cdot L_i \cdot SIN(P_i)| + |2\pi \cdot p^P \cdot L_i \cdot COS(P_i)|)$$

En définissant les matrices diagonales W^Y, W^X et W^Z de taille m x n dont la valeur des éléments de la diagonale sont précisément les valeurs des éléments des vecteurs w^Y, w^X et w^Z et en utilisant le principe des moindres carrés pour trouver les coordonnées désirées, ces dernières doivent satisfaire: (t comme exposant d'une matrice signifie: transposée)

$$R^t W^Y RX = R^t W^Y \Delta^Y,$$

$$R^t W^X RY = R^t W^X \Delta^X \text{ et}$$

$$R^t W^Z RZ = R^t W^Z \Delta^Z$$

Si le réseau considéré est connexe (on peut atteindre chaque point topo depuis le point 0 en utilisant des galeries où l'on a fait des visées), la matrice $R^t W^* R$ est inversible (l'astérisque remplace Y, X ou Z) et donc les coordonnées cherchées sont:

$$Y = (R^t W^Y R)^{-1} R^t W^Y \Delta^Y,$$

$$X = (R^t W^X R)^{-1} R^t W^X \Delta^X \text{ et}$$

$$Z = (R^t W^Z R)^{-1} R^t W^Z \Delta^Z$$

Pour résoudre ces équations, on pourra par exemple utiliser la méthode de factorisation de Cholesky:

Soit $B^* = R^t W^* R$ inversible (on devra donc répéter pour chaque coordonnée Y, X ou Z les calculs);

on a: $$b^*_{ij} = \sum_{k=1}^{m} r_{ki} w^*_k r_{kj}).$$

Il existe une matrice triangulaire inférieure (dont les éléments en dessus de la diagonale sont tous nuls) telle que $V^*(V^*)^t = B^*$. La matrice V^* est construite de la manière suivante:

Pour i=1 à n poser:

$$v^*_{ii} = \sqrt{b^*_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} v^{*2}_{ik}}$$

Pour j=i+1 à n poser:

$$v^*_{ji} = \frac{b^*_{ij} - \sum_{k=1}^{n} v^*_{ik} v^*_{jk}}{v_{ii}}$$

Nous avons

$$V^Y (V^Y)^t Y = R^t W^Y \Delta^Y;$$

posons

$$t^Y = R^Y W^Y \Delta^Y \text{ et}$$

$$s^Y = (V^Y)^t Y$$

(et de même pour les coordonnées X et Z). Comme nous connaissons R^t, W^Y et Δ^Y il est facile de calculer t^Y

$$(t^Y_i = \sum_{k=1}^{m} r_{ki} w^Y_k \Delta^Y_k).$$

Comme V^Y est triangulaire, il est facile de trouver s^Y en résolvant

$$V^Y s^Y = t^Y:$$

Pour i = 1 à n poser:

$$s^Y_i = \frac{t^Y_i - \sum_{k=1}^{i-1} v^Y_{ik} s^Y_i}{v_{ii}}$$

Par le même procédé, on trouve enfin Y en résolvant $(V^Y)^t Y = s^Y$:

Pour i = n à 1 poser:

$$Y_i = \frac{s^Y_i - \sum_{k=i+1}^{n} v^Y_{ik} Y_i}{v_{ii}}$$

C.3 Exemple

Afin d'illustrer le développement ci-dessus, prenons un exemple numérique simple.
Il s'agit d'un petit réseau (fig. C.1), composé de 3 points topos (sans compter le point 0) et de 7 visées (on ferme deux boucles et on fait une visée à l'aller et au retour).

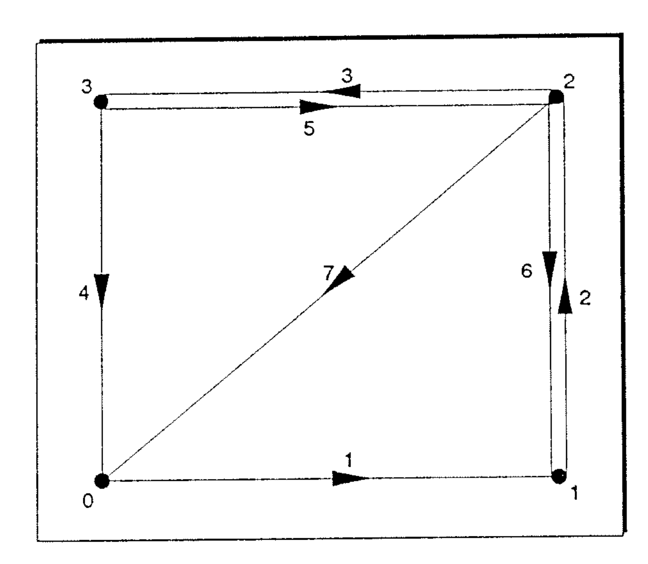


Fig. C.1 Exemple de calcul de boucles

Les erreurs de mesures sont estimées à 1% sur les longueurs, à 2 centièmes de radiant sur les azimuts et à 1 centième de radiant sur les pentes.
Les mesures effectuées sont reportées sous forme de vecteurs:

$$n^{\text{départ}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 3 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix} \qquad n^{\text{arrivée}} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} 10 \\ 10 \\ 10 \\ 9 \\ 9 \\ 11 \\ 15 \end{bmatrix} \qquad A = \begin{bmatrix} 90 \\ 0 \\ 270 \\ 180 \\ 90 \\ 180 \\ 225 \end{bmatrix} \qquad P = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

On peut alors calculer:

$$\Delta^Y = \begin{bmatrix} 10{,}000 \\ 0{,}000 \\ -10{,}000 \\ 0{,}000 \\ 9{,}000 \\ 0{,}000 \\ -10{,}607 \end{bmatrix} \quad \Delta^X = \begin{bmatrix} 0{,}000 \\ 10{,}000 \\ 0{,}000 \\ -9{,}000 \\ 0{,}000 \\ -11{,}000 \\ -10{,}607 \end{bmatrix} \quad \Delta^Z = \begin{bmatrix} 0{,}000 \\ 0{,}000 \\ 0{,}000 \\ 0{,}000 \\ 0{,}000 \\ 0{,}000 \\ 0{,}000 \end{bmatrix}$$

De même que les poids à attribuer à chaque visée:

$$w^Y = \begin{bmatrix} 0{,}100 \\ 0{,}050 \\ 0{,}100 \\ 0{,}056 \\ 0{,}111 \\ 0{,}045 \\ 0{,}031 \end{bmatrix} \quad w^X = \begin{bmatrix} 0{,}050 \\ 0{,}100 \\ 0{,}050 \\ 0{,}111 \\ 0{,}056 \\ 0{,}091 \\ 0{,}031 \end{bmatrix} \quad w^Z = \begin{bmatrix} 0{,}100 \\ 0{,}100 \\ 0{,}100 \\ 0{,}111 \\ 0{,}111 \\ 0{,}091 \\ 0{,}067 \end{bmatrix}$$

La matrice décrivant le réseau est:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

On peut alors calculer $B^* = R^t W^* R$:

$$B^Y = \begin{bmatrix} 0{,}1955 & -0{,}0955 & 0{,}0000 \\ -0{,}0955 & 0{,}3380 & -0{,}2111 \\ 0{,}0000 & -0{,}2111 & 0{,}2667 \end{bmatrix}$$

$B^X = \ldots$

$B^Z = \ldots$

La factorisation de B* donne:

$$V^Y = \begin{bmatrix} 0{,}4421 & 0{,}0000 & 0{,}0000 \\ -0{,}2159 & 0{,}5398 & 0{,}0000 \\ 0{,}0000 & -0{,}3911 & 0{,}3372 \end{bmatrix}$$

V^X=...

V^Z=...

Nous pouvons aussi calculer

$$t^Y = R^t W^Y \Delta^Y$$

$$t^X = R^t W^X \Delta^X$$

$$t^Z = R^t W^Z \Delta$$

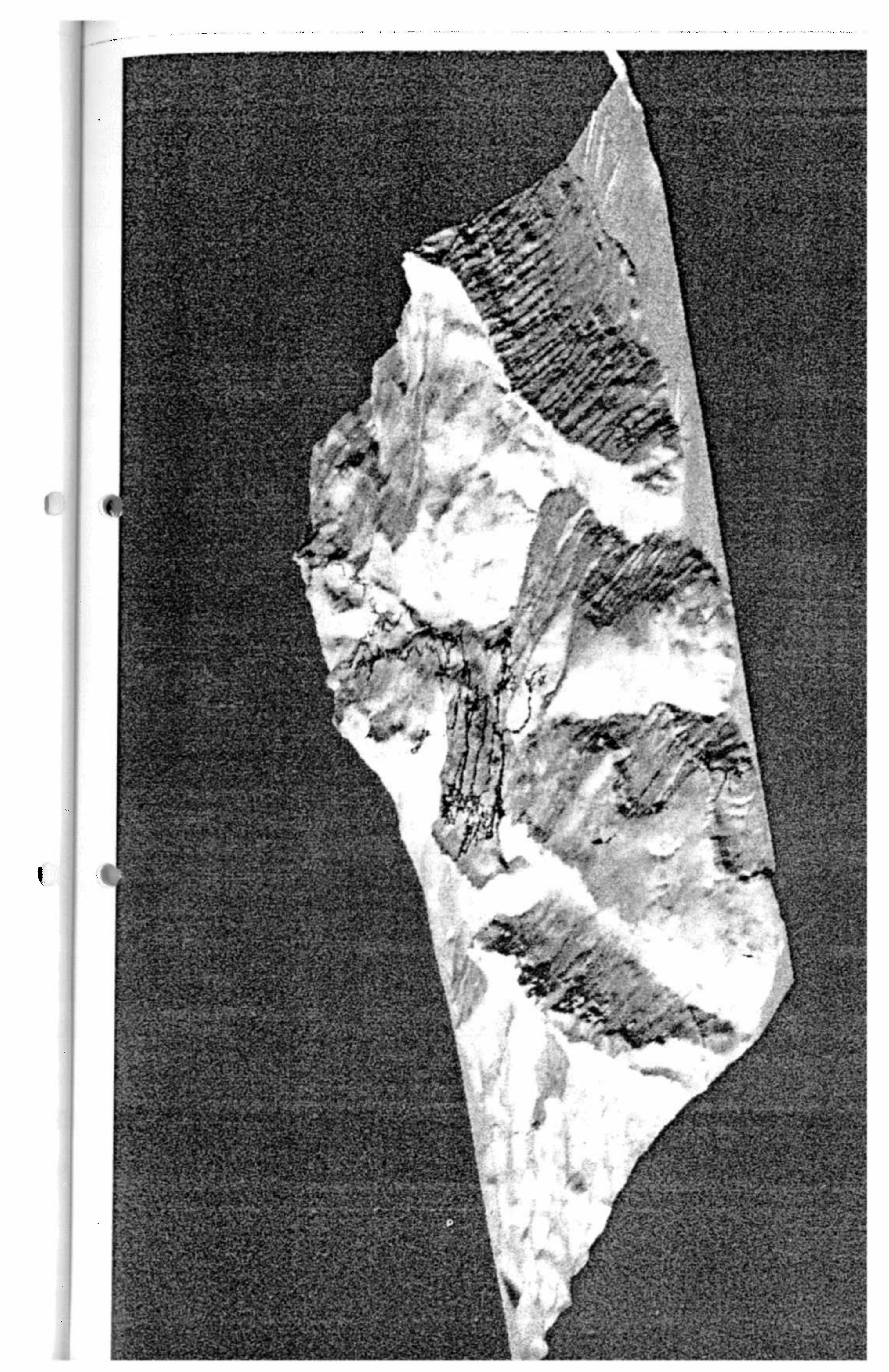
$$t^Y = \begin{bmatrix} 1{,}0000 \\ 2{,}3333 \\ -2{,}0000 \end{bmatrix} t^X = \begin{bmatrix} -2{,}0000 \\ 2{,}3333 \\ 1{,}0000 \end{bmatrix} t^Z = \begin{bmatrix} 0{,}0000 \\ 0{,}0000 \\ 0{,}0000 \end{bmatrix}$$

Maintenant, nous pouvons calculer s^Y, s^X et s^Z:

$$s^Y = \begin{bmatrix} 2{,}2619 \\ 5{,}2274 \\ 0{,}1317 \end{bmatrix} s^X = \begin{bmatrix} -4{,}0748 \\ 1{,}7809 \\ 3{,}6932 \end{bmatrix} s^Z = \begin{bmatrix} 0{,}0000 \\ 0{,}0000 \\ 0{,}0000 \end{bmatrix}$$

Enfin on obtient Y, X et Z :

$$Y = \begin{bmatrix} 9{,}9839 \\ 9{,}9671 \\ 0{,}3906 \end{bmatrix} X = \begin{bmatrix} -0{,}4799 \\ 9{,}8706 \\ 9{,}4241 \end{bmatrix} Z = \begin{bmatrix} 0{,}0000 \\ 0{,}0000 \\ 0{,}0000 \end{bmatrix}$$



D. Toporobot

D.1 Introduction

Utilisé depuis une dizaine d'années, le programme TOPOROBOT a fait ses preuves lors de la topographie de nombreuses cavités plus ou moins importantes (Flint-Ridge Mammoth Cave, le Hölloch, le réseau de Siebenhengste...)

Ecrit par Martin HELLER, ce logiciel fonctionne sur un ordinateur VAX de DIGITAL EQUIPEMENT ou sur un micro-ordinateur APPLE MACINTOSH.

La présente annexe donne un aperçu des possibilités du programme TOPOROBOT. Le lecteur désirant en savoir plus trouvera dans la bibliographie les références nécessaires.

D.2 Possibilités du programme

Le programme TOPOROBOT se charge de calculer les coordonnées de chaque point à partir des mesures effectuées sous terre. Les boucles sont compensées par la méthode des moindres carrés. Les résultats sont stockés dans une base de données, ils peuvent en tout temps être remis à jour et être imprimés sous forme de tableau.
Outre ces fonctions de calcul et de gestion des données, TOPOROBOT offre des possibilités remarquables de représentation graphique.

D.2.1 Tracé du cheminement

Le programme trace le cheminement en plan, avec report des largeurs; et en coupe, avec report des hauteurs. Ce «squelette» des galeries servira de base à l'habillage du plan et de la coupe (fig. D.1).

D.2.2 Tracé du contour schématique

Le programme trace le contour schématique de la cavité, chaque paroi étant représentée par un trait (fig. D.2). Cette représentation permet de reporter sur une carte topographique le plan d'une cavité à petite échelle. Elle permet également de dessiner un plan d'ensemble de toutes les cavités d'un massif.

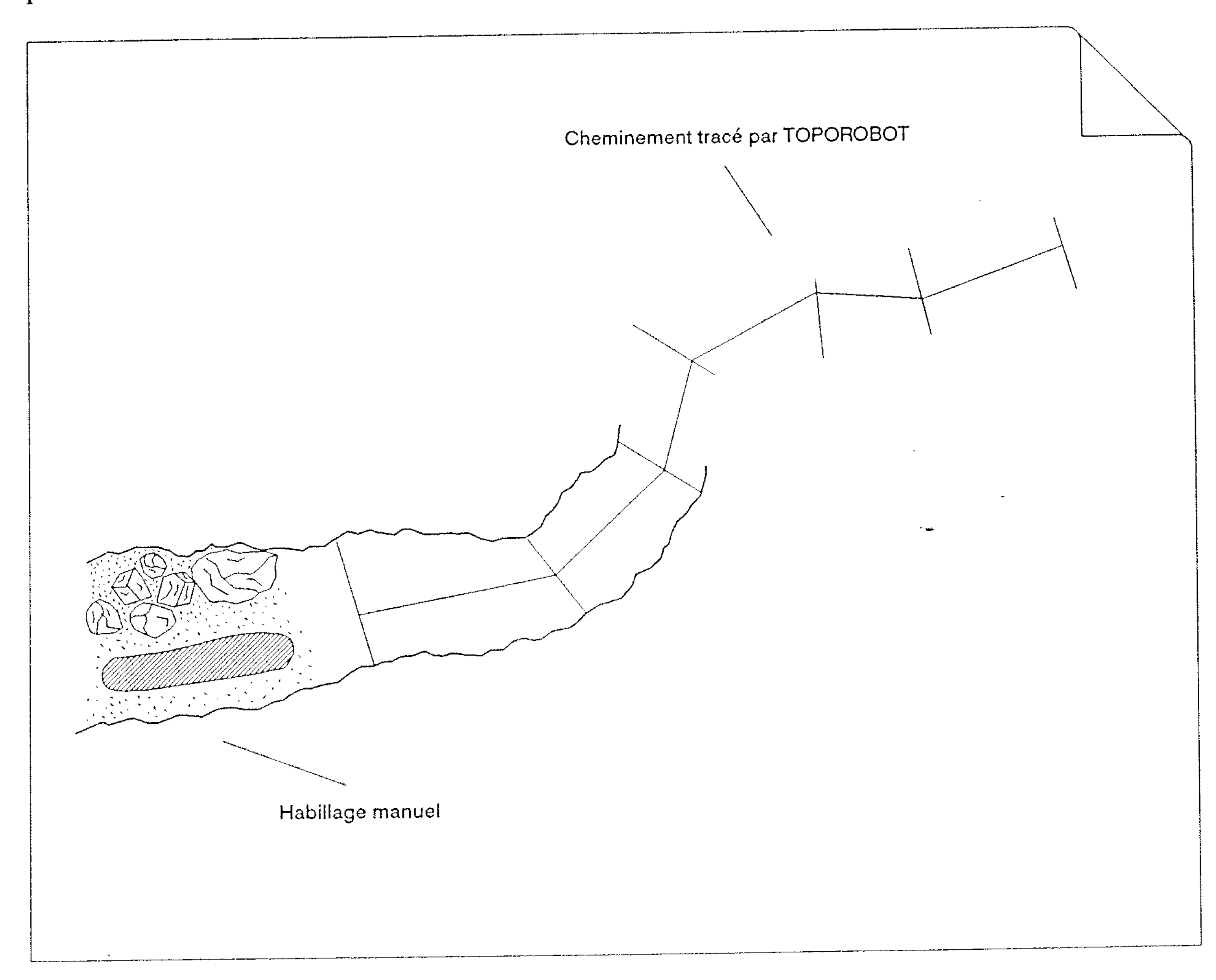


Fig. D.1 Squelette d'une galerie

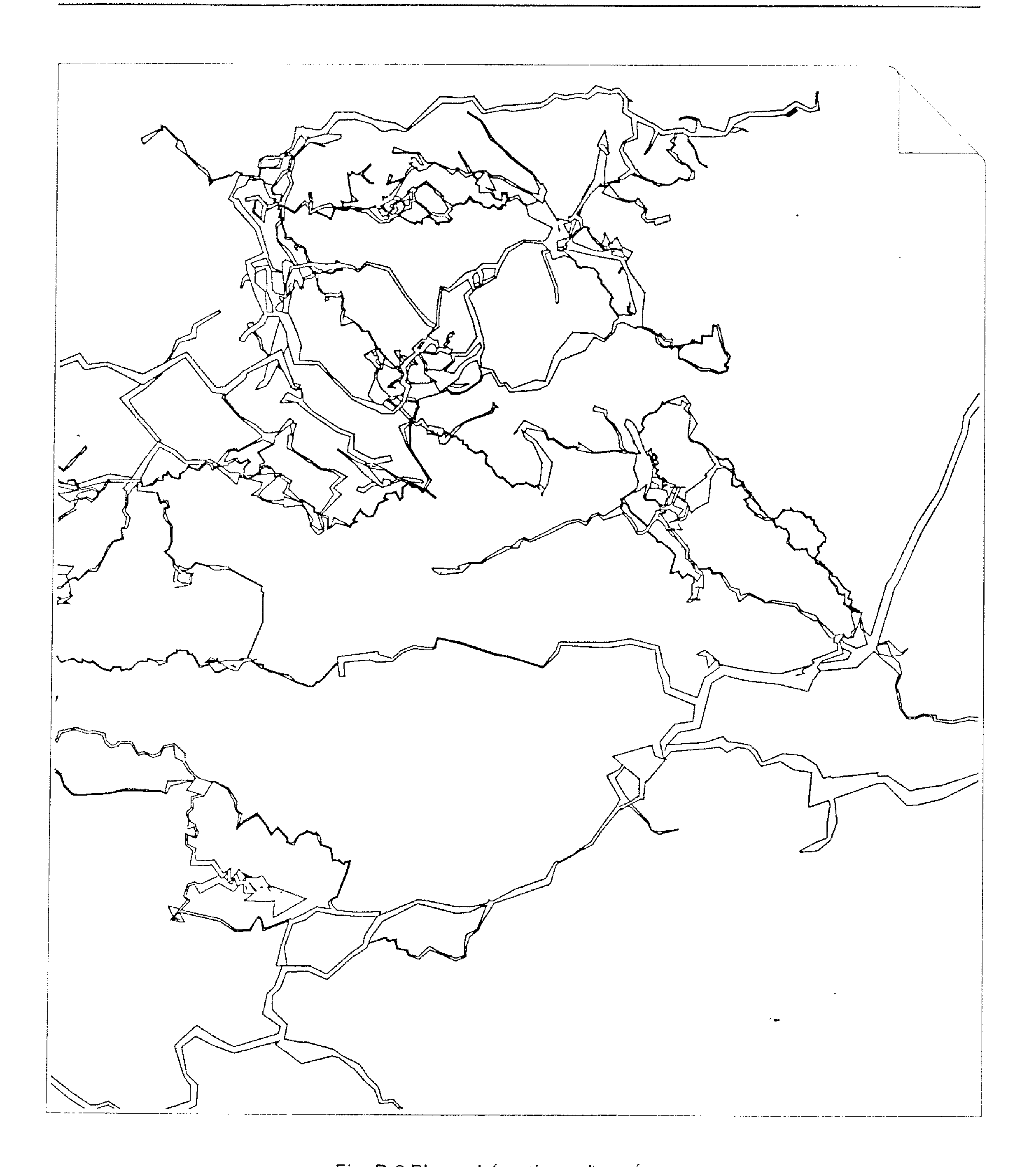
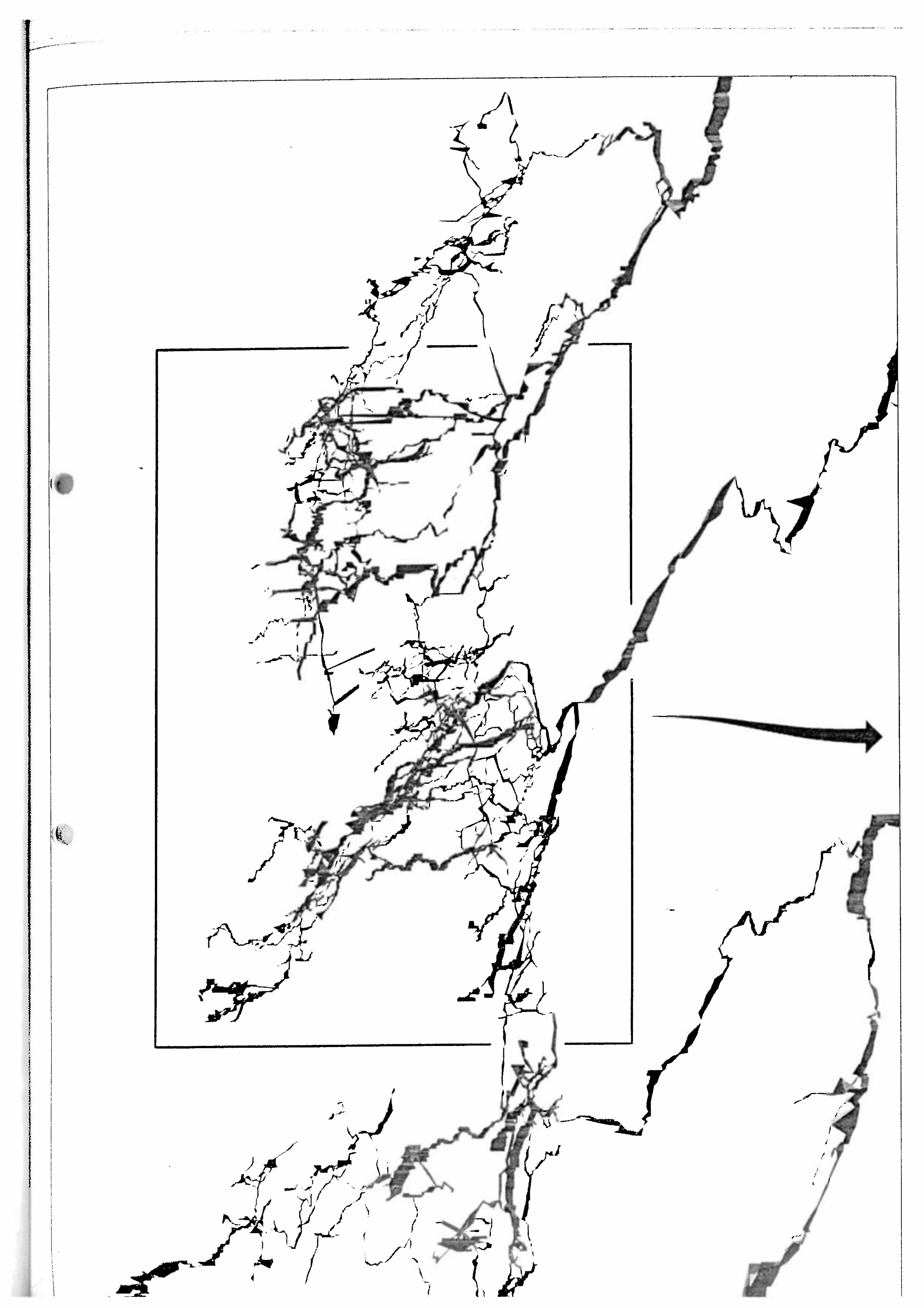


Fig. D.2 Plan schématique d'un réseau

D.2.3 Vues en perspective

Le programme dessine des vues en perspective d'une cavité ou d'un réseau. C'est la représentation la plus spectaculaire qu'offre TOPOROBOT.
L'utilisateur peut choisir l'angle sous lequel il désire voir la cavité en la faisant tourner sur l'écran. Les parties cachées sont automatiquement éliminées du dessin et l'utilisateur peut en tout temps commander l'impression sur papier.

Pour rendre la représentation plus réaliste encore, on peut demander au programme d'ombrer les galeries (fig. D.3) et de dessiner le relief de surface.
En utilisant un rétroprojecteur et un écran d'ordinateur adapté, on peut illustrer la présentation d'une cavité par la projection de vues en perspective. Il est alors possible de faire tourner ces vues dans l'espace et d'agrandir certaines parties afin de mettre un ou l'autre détail en évidence!



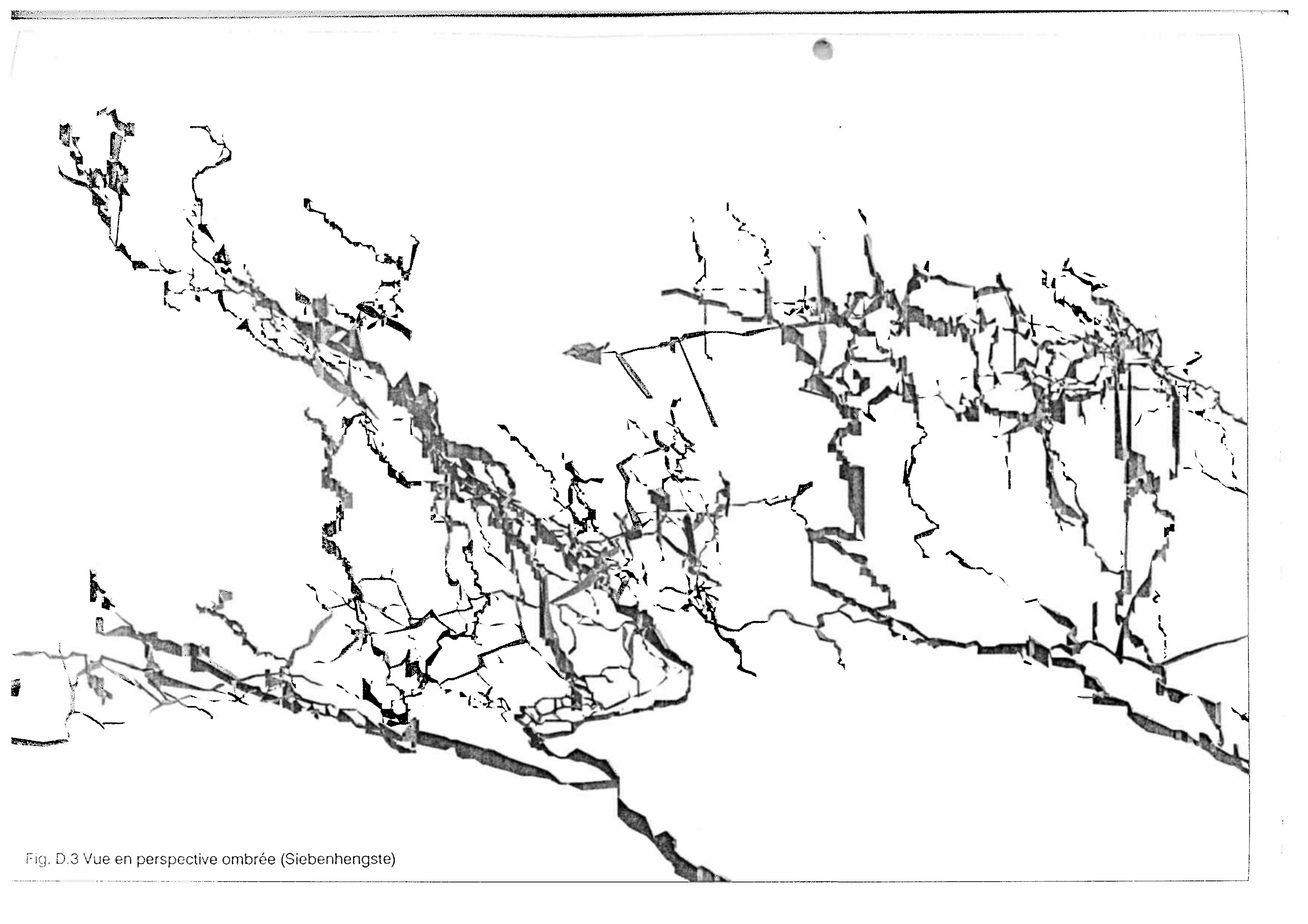


Fig. D.3 Vue en perspective ombrée (Siebenhengste)

D.3 Préparation des données

Les techniques de levé exposées au chapitre 3.2 restent valables lorsque l'on désire traiter les données à l'aide du programme TOPOROBOT.

Quelques conventions doivent être respectées pour la numérotation des points, la mesure des sections...

Ces quelques règles sont simples et, l'expérience nous l'a montré, facilement mises en pratique par les spéléos.

D.3.1 Numérotation des points

On commence avec le point 1.0 qui est le point 0 de la galerie 1. Les points suivants seront numérotés 1.1, 1.2...
Une galerie peut se boucler sur elle-même, mais deux galeries ne peuvent pas se croiser (fig. D.4).

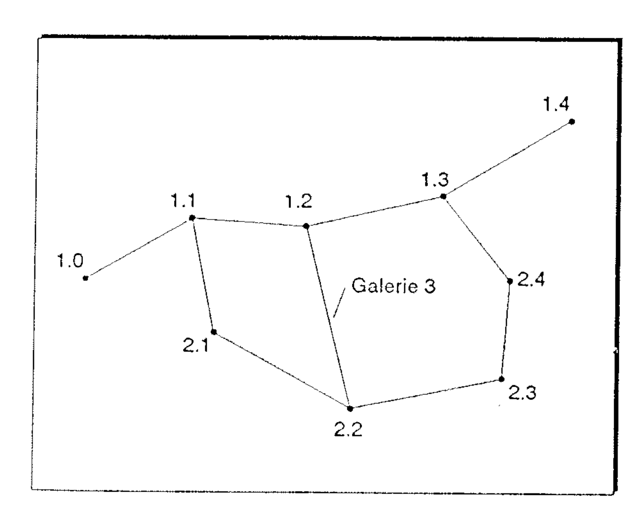


Fig. D.4 Numérotation des points

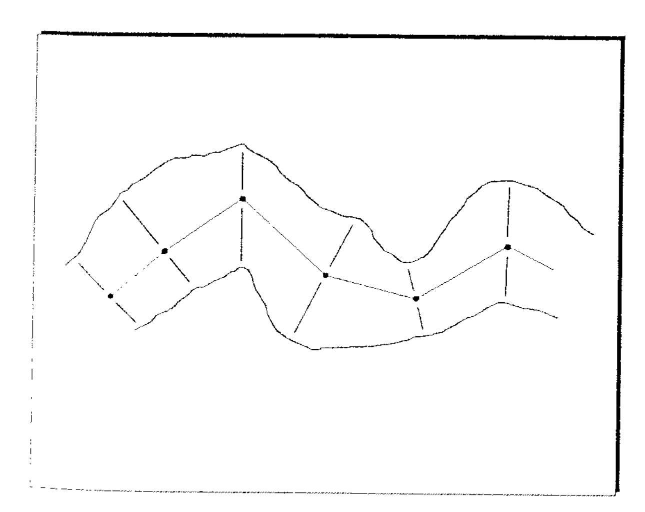


Fig. D.5 Mesure des largeurs

D.3.2 Mesure des largeurs

Les largeurs des galeries doivent être mesurées selon la bissectrice de l'angle compris entre deux visées. Cela signifie que l'on doit à chaque fois s'imaginer la visée suivante lors de la mesure des largeurs (fig. D.5).

D'autre part, il faut veiller à prendre des largeurs représentatives de la galerie (fig. D.6).

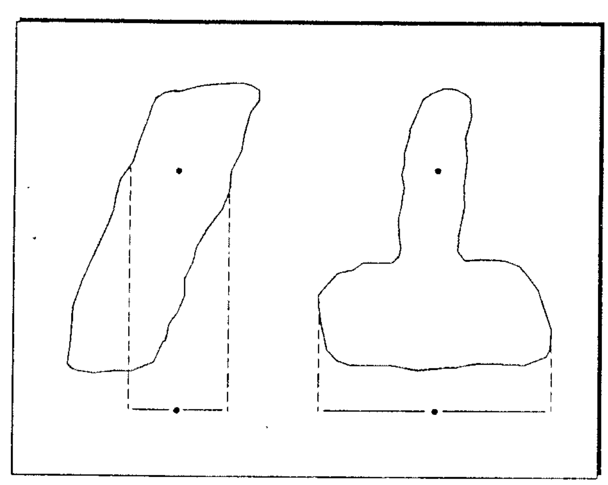


Fig. D.6 Exemple de mesures des largeurs

Aux changements de section, on introduit une visée de longueur 0 (ou une courte visée verticale), afin de prendre les largeurs avant et après le changement de section (fig. D.7).

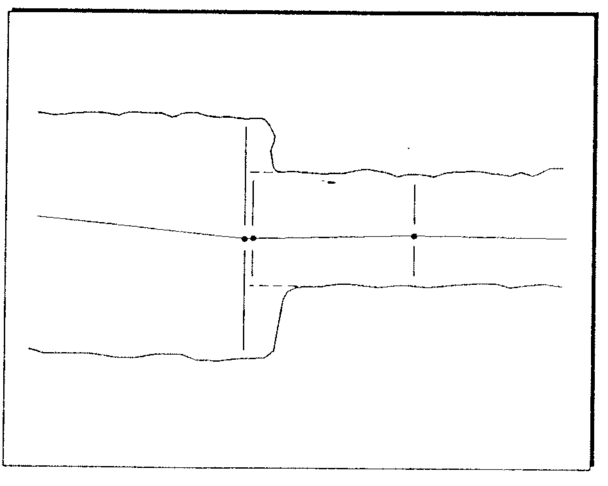


Fig. D.7 Changement de section

Au début ou à la fin d'une galerie, les largeurs doivent être prises perpendiculairement à la visée et en prolongeant mentalement la galerie s'il s'agit d'une jonction (fig. D.8).

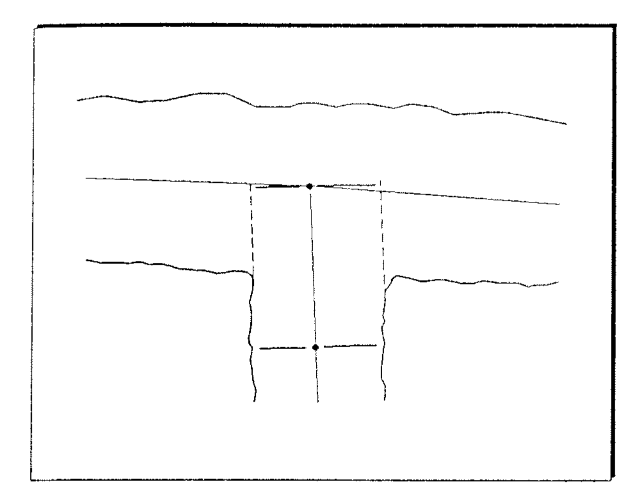


Fig. D.8 Jonction de deux galeries

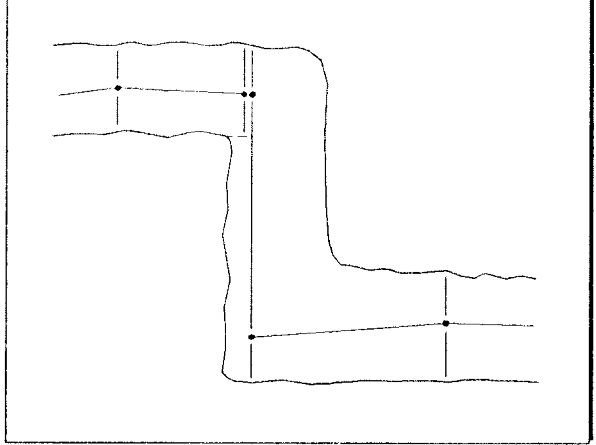


Fig. D.10 Mesure des hauteurs dans une zone de puits

D.3.3 Mesure des hauteurs

Afin de pouvoir mieux représenter les sections de puits, les hauteurs, qui sont habituellement mesurées verticalement, le sont selon la bissectrice de l'angle compris entre deux visées lorsque la galerie est fortement inclinée. L'angle à partir duquel on mesure selon la bissectrice est appelé «angle limite» (fig. D.9).

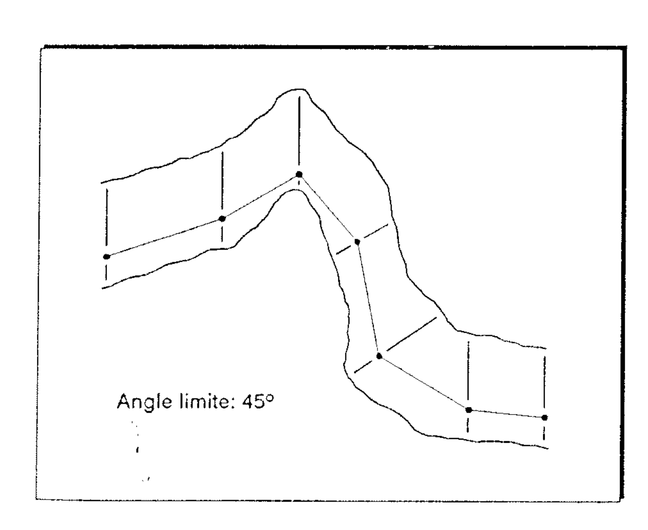


Fig. D.9 Mesure des hauteurs

Les remarques faites dans le paragraphe précédent concernant la prise de dimensions représentatives de la galerie, les changements de sections et les jonctions de galeries, s'appliquent par analogie aux hauteurs. Une attention particulière doit être apportée à la mesure de hauteurs dans les zones de puits.

On prendra, en haut du puits, la hauteur en dessous du point jusqu'à la margelle et, en bas du puits, la hauteur en dessus du point jusqu'au sommet du puits (fig. D.10).

D.3.4 Codes

Chaque visée sera caractérisée par un code, dont la signification est définie par l'utilisateur, et qui précise les informations suivantes:

- Unités de mesure (direction, pente)
- Imprécisions (longueur, direction, pente)
- Déclinaison
- Angle limite

BIBLIOGRAPHIE

AUDETAT, Maurice (1981) : Notions de géologie, géomorphologie et hydrogéologie à l'usage des spéléologues. - Société Suisse de Spéléologie, Commission des stages. 163 p.

COLLIGNON, Bernard (1988) : Spéléologie approches scientifiques. - Edisud, Aix-en-Provence. 236 p.

ELLIS, Bryan (1976) : Surveying caves. - British Caves Research Association, Great Britain. 88 p.

ELLIS, Bryan (1988) : An Introduction to Cave Surveying. - British Caves Research Association, Great Britain. 40 p.

FABRE, Guilhem ; AUDETAT, Maurice (1978) : Signes spéléologiques conventionnels. - Union Internationale de Spéléologie, Sous-Commission des Signes Conventionnels. 44 p.

HELLER, Martin (1983) : Toporobot: l'ordinateur au service du spéléologue-cartographe. - Stalactite 33 (1): 9-27.

HELLER, Martin : Toporobot:computer aided caves cartography. - Actes du 9ème congrès national Suisse de spéléologie. A paraître.

HOF, Alex (1980) : Relèvement d'un point par visées à la boussole. - Le Trou no 20 : 11-15.

HOF, Alex (1980) : L'informatique au service du spéléologue. - Le Trou no 21 : 9-12.

HOF, Alex (1981) : L'informatique au service du spéléologue : 2ème partie : application pratique. - Le Trou no 22 : 9-21.

HOF, Alex (1982) : Sieben-Hengste, Campagne de mensuration 1982. - Le Trou no 29 : 3-8.

HOF, Alex (1988) : Instruments de topographie souterraine. - Stalactite 38 (1/2) : 47-59.

LALOU, Jean-Claude ; DUDAN, Bernard ; AUDETAT, Maurice (1975) : Cours de topographie. - Société Suisse de Spéléologie, Commission des Stages. 71 p.

LALOU, Jean-Claude (1977) : Contribution à la topographie souterraine. - Stalactite 27 (2) : 100-106.

MARBACH, Georges ; ROCOURT, Jean-Louis (1980) : Technique de la Spéléologie Alpine. - TSA, Choranche. 351 p.

MARTINEZ I RIUS, Albert (1975) : Topografia Espeleològica. - Escola Catalana d'Espeleologia, España.

SALVATICI, Luciano (1981) : La rappresentazione grafica delle cavità. - Società Speleologica Italiana, Commissione Scuole. 16 p.

STUMMER, Günter (1982) : Merkblätter zur Karst - und Höhlenkunde. - Verband Österreichischer Höhlenforscher, Wien, Österreich.

WENGER, Rémy (1982) : Pourquoi la topographie. - Reflektor Nr. 3 (1982) : 13-21.

ADRESSES UTILES

Société Suisse de Spéléologie
Case postale 37
1020 Renens

Bibliothèque SSS et Centre de documentation UIS
c/o Bibliothèque de la Ville
2300 La Chaux-de-Fonds

Commission Scientifique de la SSS
Commission Documentation (fichier) de la SSS
Case postale 37
1020 Renens

Feuilles topo en syntosil en vente à la

Bibliothèque de la SSS
Chemin des Invuex
1614 Granges